WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
L. inw. 26

...schen

...rbinen

Von

Dipl.-Ing. P. Holl

I

Allgemeines
Die Freistrahlturbinen

Mit 113 Abbildungen

GJG

3802887 5/6 917

Maschinenbautechn. Bibliothek

aus der Sammlung Göschen

Jedes Bändchen in Leinwand gebunden **90 Pfennig**

Das Rechnen in der Technik und seine Hilfsmittel (Rechenschieber, Rechentafeln, Rechenmaschinen usw.) von Ingenieur Joh. Eugen Mayer. Mit 30 Abbildungen. Nr. 405.

Technische Tabellen und Formeln von Dr.-Ing. W. Müller, Dipl.-Ing. am Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. Mit 106 Figuren. Nr. 579.

Materialprüfungswesen. Einführung in die moderne Technik der Materialprüfung von K. Memmler, Dipl.-Ing., ständiger Mitarbeiter am Kgl. Materialprüfungsamte zu Groß-Lichterfelde. **I:** Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel für Festigkeitsversuche. Mit 58 Figuren. Nr. 311.

— **II:** Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues. — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Figuren. Nr. 312.

Metallographie. Kurze, gemeinfaßliche Darstellung der Lehre von den Metallen und ihren Legierungen unter besonderer Berücksichtigung der Metallmikroskopie von Prof. E. Heyn und Prof. O. Bauer am Kgl. Materialprüfungsamt (Groß-Lichterfelde) der Kgl. Techn. Hochschule zu Berlin. **I:** Allgemeiner Teil. Mit 45 Abbildungen im Text und 5 Lichtbildern auf 3 Tafeln. Nr. 432.

— **II:** Spezieller Teil. Mit 49 Abbildungen im Text und 37 Lichtbildern auf 19 Tafeln. Nr. 433.

Statik. I: Die Grundlehren der Statik starrer Körper von W. Hauber, Diplom-Ingenieur in Stuttgart. Mit 82 Figuren. Nr. 178.
— **II:** Angewandte Statik. Mit 61 Figuren. Nr

Graphische Statik mit besonderer Berücksichtigung der Einflußlinien von Dipl.-Ing. Otto Henkel, Bauing. und Oberlehrer an der Kgl. Tiefbauschule in Rendsburg. I. Teil. Mit 121 Figuren. Nr. 603.

Festigkeitslehre von W. Hauber, Diplom-Ingenieur in Stuttgart. Mit 56 Figuren. Nr. 288.

Aufgabensammlung zur Festigkeitslehre m. Lösungen von R. Haren, Dipl.-Ing. in Mannheim. Mit 42 Figuren. Nr. 491.

Hydraulik von Diplom-Ingenieur W. Hauber in Stuttgart. Mit 44 Figuren. Nr. 397.

Kinemat... n der Kgl. Techn. Hochsc... r. 584.

Elastizit... **ndlagen und Allge**... **e, Zylinder, Eben**... **Träger** von Prof. D... schule Stuttgart und Pr... gart. Mit 69 Abbildun...

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000295761

Die außerordentliche Erhöhung der Buchdrucker-, Buchbinder- und Papierpreise, die in den letzten Jahren stattgefunden und die Herstellung aller Bücher in starkem Maße verteuert hat, zwingt uns leider, den Ladenpreis unserer

Sammlung Göschen auf 1 Mark

für den Band zu erhöhen. Diese Steigerung bedeutet im Verhältnis zum großen Anwachsen der Herstellungskosten einen minimalen Aufschlag, und so dürfen wir wohl hoffen, daß dadurch der andauernde Aufschwung unseres Unternehmens in keiner Weise gehemmt wird, die Bändchen vielmehr eine immer weitere Verbreitung finden und neue Freunde sich gewinnen werden, um so mehr, als angesichts ihres inneren Wertes und aller sonstigen einschlägigen Verhältnisse unsere Bändchen doch immer noch ungewöhnlich preiswert bleiben.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung
G. m. b. H.
Berlin und Leipzig.

Geometrisches Zeichnen von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neubearbeitet von Professor J. Vonderlinn, Direktor der Kgl. Baugewerkschule in Münster. Mit 290 Figuren und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

Schattenkonstruktionen von Professor J. Vonderlinn in Münster. Mit 114 Figuren. Nr. 236.

Parallelperspektive. Rechtwinklige und schiefwinklige Axonometrie von Professor J. Vonderlinn in Münster. Mit 121 Figuren. Nr. 260.

Zentral-Perspektive von Architekt Hans Freyberger, neubearbeitet von Prof. J. Vonderlinn in Münster i. W. Mit 132 Fig. Nr. 57.

Darstellende Geometrie von Dr. Robert Haußner, Professor an der Universität Jena. **I.** Mit 110 Figuren. Nr. 142.
— **II.** Mit 40 Figuren. Nr. 143.

Praktisches Maschinenzeichnen von Ing. Rich. Schiffner in Warmbrunn. **I:** Grundbegriffe, Einfache Maschinenteile bis zu den Kuppelungen. Mit 60 Tafeln. Nr. 589.
— **II:** Lager, Riem- und Seilscheiben, Zahnräder, Kolben-Pumpe. Mit 51 Tafeln. Nr. 590.

Die Maschinenelemente. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.

Metallurgie von Dr. August Geitz in Kristianssand (Norwegen). **I. II.** Mit 21 Figuren. Nr. 313, 314.

Eisenhüttenkunde von A. Krauß, diplomierter Hütteningenieur. **I:** Das Roheisen. Mit 17 Figuren und 4 Tafeln. Nr. 152.
— **II:** Das Schmiedeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

Lötrohrprobierkunde. Qualitative Analyse mit Hilfe des Lötrohrs von Dr. Martin Henglein in Freiberg. Mit 10 Figuren. Nr. 483.

Technische Wärmelehre (Thermodynamik) von K. Walther und M. Röttinger, Diplom-Ingenieuren. Mit 54 Figuren. Nr. 242.

Mechanische Technologie von Geh. Hofrat Prof. A. Lüdicke in Braunschweig. 2 Bände. Nr. 340, 341.

Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen von M. Röttinger. Diplom-Ingenieur in Mannheim. Mit 73 Figuren. Nr. 2.

Die Kalkulation im Maschinenbau von Ingenieur H. Bethmann, Dozent am Technikum Altenburg. Mit 61 Abbildungen. Nr. 486.

Die Geschwindigkeitsregler der Kraftmaschinen von Dr.-Ing. H. Kröner in Friedberg. Mit 33 Figuren. Nr. 604.

Die Dampfmaschinen. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. 2 Bdchn. **I:** Wärmetheoretische und dampftechnische Grundlagen. Mit 64 Figuren. Nr. 8.
— **II:** Bau und Betrieb der Dampfmaschinen. Mit 109 Fig. Nr. 572.

Die Dampfkessel. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Obering. in Nürnberg. **I:** Kesselsysteme und Feuerungen. Mit 43 Figuren. Nr. 9.
— **II:** Bau und Betrieb der Dampfkessel. Mit 57 Fig. Nr. 521.

Die Gaskraftmaschinen. Kurzgefaßte Darstellung der wichtigsten Gasmaschinen-Bauarten von Ingenieur Alfred Kirschke. 2 Bändchen. Mit vielen Figuren. Nr. 318 u. 651.

Wenden!

Die Dampfturbinen, ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ingenieur Prof. Hermann Wilda in Bremen. Mit 89 Abb. Nr. 274.

Die Wasserturbinen von Dipl.-Ing. P. Holl in Berlin. I: Allgemeines. Die Freistrahlturbinen. Mit 113 Abbildungen. Nr. 541.

— II: Die Überdruckturbinen. Die Wasserkraftanlagen. Mit 102 Abbildungen. Nr. 542.

Die zweckmäßigste Betriebskraft von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. I: Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 27 Abbildungen. Nr. 224.

— II: Gas-, Wasser- und Windkraft-Anlagen Mit 31 Abbild. Nr. 225.

— III: Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graphische Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 27 Abbildungen. Nr. 474.

Eisenbahnfahrzeuge von H. Hinnenthal, Kgl. Regierungsbaumeister und Oberingenieur in Hannover. I: Die Lokomotiven. Mit 89 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Nr. 107.

— II: Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit 56 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. Nr. 108.

Die Hebezeuge, ihre Konstruktion und Berechnung von Ingenieur Hermann Wilda, Prof. am staatl. Technikum in Bremen. Mit 399 Abbildungen. Nr. 414.

Pumpen, Druckwasser- und Druckluft-Anlagen. Ein kurzer Überblick von Dipl.-Ing. Rudolf Vogdt, Regierungsbaumeister a. D. in Aachen. Mit 87 Abbildungen. Nr. 290.

Die landwirtschaftlichen Maschinen von Karl Walther, Dipl.-Ingenieur in Mannheim. 3 Bändchen. Mit vielen Abb. Nr. 407—409.

Die Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung von Ing. Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 125 Abbildungen. Nr. 582.

Die Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung von Ing. Prof. Hermann Wilda in Bremen. I: Die Mechanismen der Werkzeugmaschinen. Die Drehbänke. Die Fräsmaschinen. Mit 319 Abbildungen. Nr. 561.

— II: Die Bohr- und Schleifmaschinen. Die Hobel-, Shaping- und Stoßmaschinen. Die Sägen und Scheren. Antrieb und Kraftbedarf. Mit 199 Abbildungen. Nr. 562.

Gießereimaschinen von Dipl.-Ing. Emil Treiber in Heidenheim a. B. Mit 51 Figuren. Nr. 548.

Die elektrisch betriebenen Fördermaschinen von Diplom-Bergingenieur A. Balthaser. Mit vielen Fig. Nr. 678.

Die Preßluftwerkzeuge von Diplom-Ingenieur P. Iltis, Oberlehrer an der Kaiserl. Technischen Schule in Straßburg. Mit 82 Figuren. Nr. 493.

Technisches Wörterbuch, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke des Maschinenbaues, Schiffbaues und der Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin. I: Deutsch-Englisch. Nr. 395.

— II: Englisch-Deutsch. Nr. 396.

— III: Deutsch-Französisch. Nr. 453.

— IV: Französisch-Deutsch. Nr. 454.

Weitere Bände erscheinen in rascher Folge.

Sammlung Göschen

Die Wasserturbinen

Von

Dipl.-Ing. P. Holl

I

Allgemeines
Die Freistrahlturbinen

Mit 113 Abbildungen

Neudruck

Berlin und Leipzig
G. J. Göschen'sche Verlagshandlung G. m. b. H.
1914

BIBLIOTEKA
KRAKÓW
Politechniczna
1-301265

Alle Rechte, namentlich das Übersetzungsrecht,
von der Verlagshandlung vorbehalten.

Druck
der Spamerschen
Buchdruckerei in Leipzig

Akc. Nr. 5321/50
ZPU-B-569/2016

Inhaltsverzeichnis.

I. Abschnitt. Allgemeines.

1. Kapitel. Anordnung und Arbeitsvermögen der Wasserkraftanlagen.

Seite

§ 1. Wasserkraft als Energiequelle 5
§ 2. Die Hauptbestandteile einer Wasserkraftanlage . . . 7
§ 3. Die Arbeitsleistung einer Wasserturbinenanlage . . . 18

2. Kapitel. Arbeitsweise und Einteilung der Wasserturbinen.

§ 4. Das Arbeitsprinzip der Wasserturbinen 20
§ 5. Das Gesetz der Relativbewegung 26
§ 6. Die Elemente der Wasserturbinen und ihr Zusammenbau 30
§ 7. Die zwei verschiedenen Arbeitsprozesse des Wassers 37
§ 8. Einführung in die Behandlung der Schaufelungsprobleme; die rechnerische und graphische Untersuchung der Arbeitsprozesse, erläutert an der axialen Freistrahlturbine 45
§ 9. Die Energieverluste in den Wasserturbinen, hydraulischer und mechanischer Wirkungsgrad 58

II. Abschnitt. Die Freistrahlturbinen.

3. Kapitel. Die Peltonturbine.

§ 10. Der Arbeitsprozeß der Peltonturbine 60
§ 11. Dimensionierung und konstruktive Ausführung der Peltonturbine 70
§ 12. Druckrohrleitung und Wasserschloßausrüstung . . . 88
§ 13. Geschwindigkeitsregulierung 95

Seite

§ 14. Rohrdruckregulierung 116
§ 15. Reguliervorschriften und Reguliergarantien 125
§ 16. Schwungmassenbedarf 128
§ 17. Regulierungen für besondere Fälle 133
§ 18. Versagen der Geschwindigkeitsregulierung 138
§ 19. Zubehör der Peltonturbine 143
§ 20. Das Anwendungsgebiet der Peltonturbine und ihr Verhalten innerhalb desselben 145

4. Kapitel. Die Schwamkrugturbine.

§ 21. Der Arbeitsprozeß der Schwamkrugturbine 156
§ 22. Dimensionierung und konstruktive Ausführung der Schwamkrugturbine 159
§ 23. Das Anwendungsgebiet der Schwamkrugturbine . . 163

I. Abschnitt.

Allgemeines.

1. Kapitel.

Anordnung und Arbeitsvermögen der Wasserkraftanlagen.

§ 1. Wasserkraft als Energiequelle.

Wird ein Körper vom Gewicht P kg um die Höhe H Meter gehoben, so muß dabei bekanntlich zur Überwindung der Schwerkraft eine mechanische Arbeit $P \cdot H$ Meterkilogramm geleistet werden. Umgekehrt muß, sobald man den gleichen Körper um die Höhe H zurückfallen läßt, notwendigerweise die vorher aufgewendete mechanische Arbeit $P \cdot H$ mkg wieder zum Vorschein kommen. Man kann daher allgemein sagen, daß ein Körper vom Gewicht P die Fähigkeit besitzt, die Arbeit $P \cdot H$ mkg zu leisten, sofern für ihn die Möglichkeit einer Abwärtsbewegung um eine Höhendifferenz H vorliegt. Diese Fähigkeit eines in einer bestimmten Höhenlage A (Fig. 1) ruhenden Körpers, mechanische Arbeit zu leisten, nennt man seine potenzielle

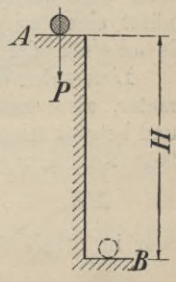

Fig. 1.

Energie ($E_{potenziell}$) gegenüber der um H Meter tieferen Lage B und man kann schreiben:

$$E_{potenziell} = P \cdot H \text{ mkg}. \qquad (1)$$

Potenzielle Energiemengen trifft man auf der Erde infolge der zahllosen Niveauunterschiede ihrer Oberfläche sehr häufig an. Ihr für die Technik wichtigster Träger ist das aus atmosphärischen Niederschlägen herrührende, in offenen Wasserläufen sich sammelnde und den Meeren zuströmende Wasser. Denkt man sich in einem Wasserlaufe einen natürlichen Wasserfall, so hat man genau die in Figur 1 skizzierte Sachlage nur mit dem einzigen aber außerordentlich vorteilhaften Unterschied, daß an der höheren Stelle A nicht ein einzelner Körper liegt, sondern daß hier eine stetige Anlieferung von mit potenzieller Energie begabten Wasserteilen stattfindet, so daß, wenn man diese stetig ankommende potenzielle Energie ausnützt, eine stetige mechanische Arbeitsleistung, meßbar in mkg/sek oder in Pferdestärken (PS), sich ergibt.

Liefert der Wasserfall in jeder Sekunde ΣQ Kubikmeter, also dem Gewichte nach $1000 \cdot \Sigma Q$ kg Wasser und beträgt seine Fallhöhe H Meter, so hat die sekundliche Anlieferung von potenzieller Energie den Wert:

$$\Sigma E_{disp} = 1000 \cdot \Sigma Q^{m^3/s} \cdot H^{Meter} \text{ (mkg/sek)} \qquad (2)$$

oder in Pferdestärken

$$\Sigma N_{disp} = \frac{1000 \cdot \Sigma Q^{m^3/s} \cdot H^{Meter}}{75} \text{ (PS)} \quad . \qquad (3)$$

und es müßte demnach bei verlustloser Umsetzung dieselbe Leistung als mechanische Arbeitsleistung zum Vorschein kommen.

§ 2. Die Hauptbestandteile einer Wasserkraftanlage.

Ist ein Wasserfall an einem auszunützenden Flußlauf nicht von Natur aus vorhanden, so kann ein solcher durch künstliche Konzentrierung des Spiegelgefälles des Flusses erzeugt werden. Die Oberfläche jedes stetig fließenden Wasserlaufes stellt im allgemeinen eine schiefe Ebene dar, welche je nach der Größe der Spiegelsenkung pro Längeneinheit mehr oder weniger stark geneigt ist, wie in Fig. 2, der Deutlichkeit halber übertrieben, dargestellt ist. Zwischen zwei Flußstellen A und B des Flusses (Fig. 2, Aufriß) besteht also eine bestimmte Höhendifferenz $A'B$ (Gesamtspiegelgefälle) und wenn man an der Stelle A das Wasser dem Fluß

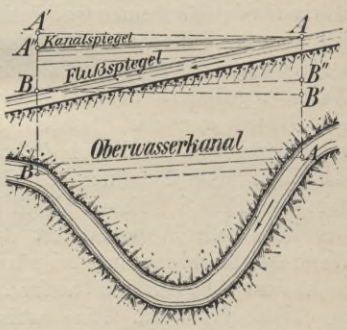

Fig. 2.

entnehmen und horizontal nach A' weiter transportieren würde und dann wieder in den Fluß abstürzen ließe, so hätte man damit einen künstlichen Wasserfall bei B geschaffen. Horizontale Transportierung des Wassers von A nach A' ist nun aber technisch nicht wohl ausführbar. Es bleibt nichts anderes übrig, als das Wasser selbst von A gegen A' hinfließen zu lassen. Man baut dazu einen Kanal, der das Wasser bei A dem Fluß entnimmt, und führt diesen Kanal mit möglichst glattem, wasserdichtem Bett und passend großem

Querschnitt so aus, daß darin ein langsamer, durch keinerlei Hindernisse gestörter, so weit als möglich geradlinig von A nach B führender Ablauf des Wassers stattfindet. Man erreicht dadurch, daß in dem Kanal sich eine viel geringere Spiegelsenkung einstellt als die im Fluß vorhandene. Das Kanalwasser steht nach Erreichung der Stelle B zwar tiefer als A' aber immer noch in einer bestimmten Höhe A'' über dem Flußspiegel beziehungsweise Flußbett und bildet beim Abstürzen in den Fluß einen technisch verwertbaren Wasserfall von der Fallhöhe $A''B$. Dieses Verfahren zur Konzentrierung von Spiegelgefälle kann in mannigfacher Weise abgeändert werden. Man kann nämlich den Kanal auch von der Flußstelle B aus und ausgehend vom Flußspiegel bei B nach A (im Aufriß Fig. 2 nach B') hin bauen und kann nun das Wasser in A unmittelbar vom Fluß in diesen Kanal BB' abstürzen lassen. Der künstliche Wasserfall ist damit nach A verlegt. Wenn der Kanal reibungsfrei wäre, so würde das Wasser nach dem Absturz mit horizontaler Spiegellinie $B'B$ zum Fluß hinfließen. Eine horizontale Spiegellinie ist natürlich bei fließendem Wasser nicht möglich. Es ist auch hier zum Transport des Wassers ein bestimmtes schwaches Spiegelgefälle mit einer Gesamtspiegeldifferenz gleich $A'A''$ nötig und da dem Kanal die Endspiegelhöhe B vom Fluß her, der von B aus abwärts genau wie früher verläuft, aufgezwungen wird, so stellt sich das Wasser im Betrieb von selbst in B' um die Höhe $B'B'' = A'A''$ höher ein als in B. Den vom Flußspiegel B ausgehenden Kanal nennt man einen Unterwasserkanal, während man den zuerst erwähnten vom Flußspiegel A ausgehenden Kanal als Oberwasserkanal bezeichnet. Den Wasserspiegel B'' nennt

man den betriebsmäßigen Unterwasserspiegel, und den Spiegel A'' den betriebsmäßigen Oberwasserspiegel. Unterwasserkanäle erfordern gewöhnlich Ausschachtungen, Oberwasserkanäle dagegen Dammaufschüttungen.

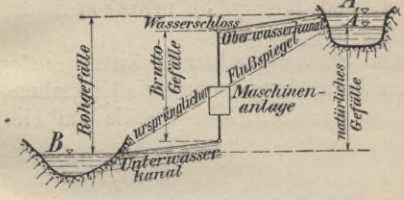

Fig. 3.

In der Praxis ergibt sich häufig mit Rücksicht auf Ausgleich von Aushub und Aufschüttung und Erzielung des Baukostenminimums eine Kombination der beiden Kanalarten als zweckmäßig, so daß eine Wasserkraft-

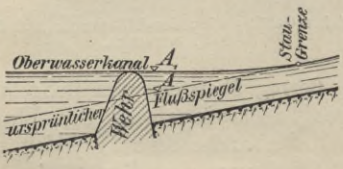

Fig. 4. Zusätzlicher Gefällsgewinn durch Stauwehr.

anlage für gewöhnlich sowohl einen Oberwasserkanal als auch einen Unterwasserkanal besitzt (Fig. 3). Die Flußspiegeldifferenz zwischen A (Wasserentnahmestelle) und B (Wasserrückgabestelle) (Fig. 2 u. 3) nennt man das „natürliche Gefälle“ H_{nat} der Anlage. Zwecks Vergrößerung dieses natürlichen Gefälles baut man im allgemeinen in den Fluß unmittelbar an der Wasser-

entnahmestelle ein Stauwehr ein (Fig. 4), welches den Wasserspiegel A auf eine Höhe A_1 (Fig. 3 u. 4) so hoch aufstaut, als mit Rücksicht auf das dem Fluß anliegende Gelände und die am Flußoberlauf bestehenden Wasserrechte zulässig ist. Die Höhendifferenz zwischen A_1 und B (Fig. 3) nennt man das Rohgefälle H_{roh} der Anlage.

Eine dem Stauwehreinbau im Zweck analoge, aber seltener zur Anwendung kommende Maßnahme zur Erzielung eines das natürliche Gefälle um einen mög-

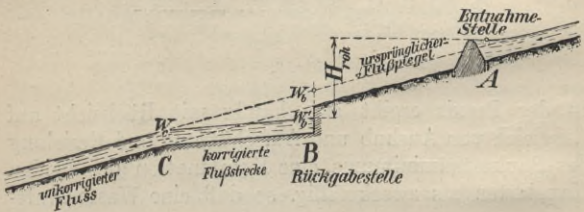

Fig. 5. Zusätzlicher Gefällsgewinn durch Stauwehr und durch Senkung des Unterwassers.

lichst hohen Betrag übersteigenden Rohgefälles ist die Senkung des Flußspiegels an der Wasserrückgabestelle. Eine solche Senkung erzielt man, wenn man den Flußlauf von der Wasserrückgabe abwärts kanalisiert oder wenigstens auf eine längere Strecke BC (Fig. 5) einer gründlichen Korrektion unterzieht. Für den auf der korrigierten Strecke BC sich einstellenden Spiegelverlauf gilt genau dasselbe, was vorstehend über den Spiegelverlauf eines Unterwasserkanals gesagt wurde: Die unkorrigierte Flußstrecke von C abwärts zwingt der korrigierten Flußstrecke die Endspiegellage W_c auf. Die Spiegellinie $W_c — W_b'$ hat ein um

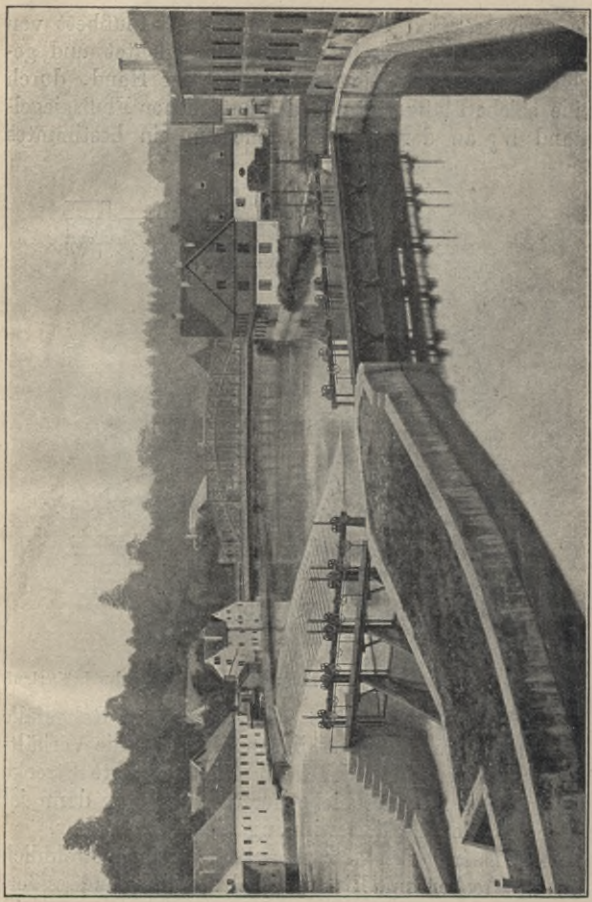

Fig. 6. Stauwehr und Kanaleinlauf (Elektrizitätswerk Kempten, gebaut von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg).

so geringeres Spiegelgefälle, je mehr das Flußbett von C bis B vertieft, verbreitert, geradegerichtet und geglättet wird. Man hat es also in der Hand, durch eine solche Flußkorrektion den natürlichen Flußspiegelstand W_b an der Rückgabestelle um ein bestimmtes

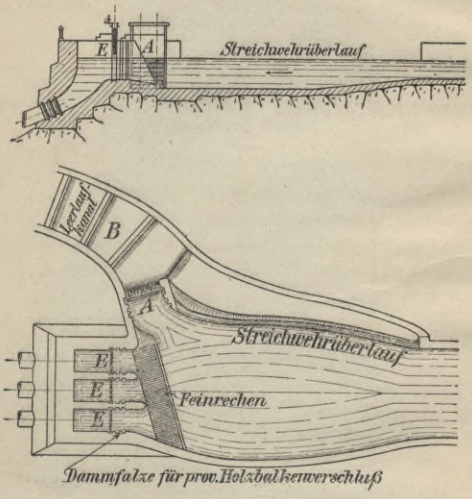

Fig. 7. Wasserschloß mit Entleerungsschütze und Streichwehrüberlauf.

Maß $W_b - W_b'$ zu senken und dadurch das Rohgefälle der Anlage zu erhöhen. Wenn allerdings die Verhältnisse so liegen, daß der Fluß die korrigierte Strecke bald wieder mit Geschiebe ausfüllen würde, dann ist diese Art der Gefällsgewinnung nicht anwendbar.

Am Anfang des Oberwasserkanals wird gewöhnlich ein Grobrechen mit Eis- und Holzabweiser und außerdem eine Absperrvorrichtung (Schützenanlage mit Hoch-

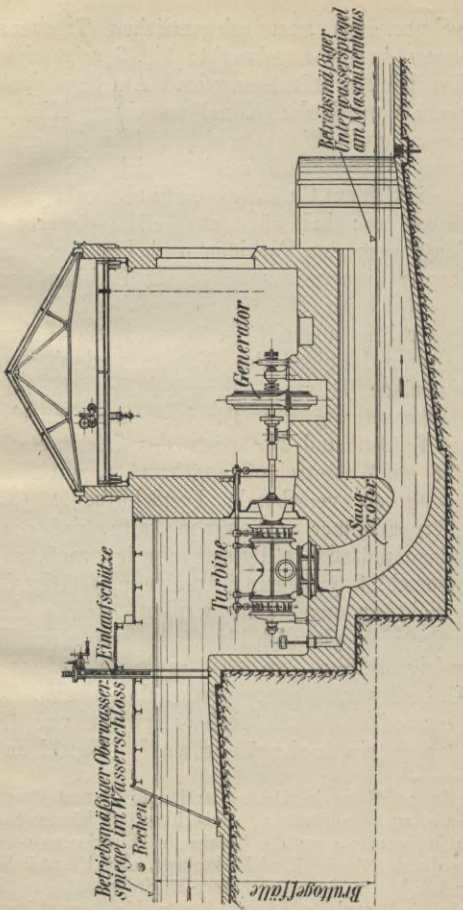

Fig. 8. Wasserkraftanlage (elektrische Zentrale) mit Turbine im offenen Schacht.

wasserschutzwand) zum gelegentlichen Trockensetzen der ganzen Anlage angebracht; Fig. 6 zeigt einen solchen Kanaleinlauf mit Stauwehr. Am Ende des Oberwasserkanals wird der Kanal zu einem Klärbecken, dem sogenannten Wasserschloß (Fig. 7), erweitert. An dieses Wasserschloß schließt sich die Turbinenanlage bei kleinem Gefälle als Schachtanlage (Fig. 8) unmittelbar an; bei höherem Gefälle dagegen führt man das Wasser den Turbinen nach Fig. 7 u. 9 mittels Druckrohrleitungen zu. Vor den Turbinenkammern der Schachtanlagen (Fig. 8), bzw. vor den Rohreinläufen der Druckrohrleitungen (Fig. 7) wird ein Feinrechen zum weiteren Reinigen des Wassers und eine weitere Schützenanlage *E* zum Absperren des Wassers und zur Trockensetzung der Turbinenanlage angebracht.

Zum Spülen und Entleeren des Oberwasserkanals dient die am Wasserschloß angebrachte, mit Eisablaßvorrichtung zu versehende Leerschütze *A* (Fig. 7). Da es ferner immer vorkommen kann, daß die Turbinenanlage plötzlich stillgesetzt werden muß, so muß am Wasserschloß im allgemeinen eine selbsttätige Sicherheitsvorrichtung angebracht werden, welche das zuströmende, aber plötzlich überflüssig gewordene Wasser anderweitig abführt, so daß es keine Aufstauungen und Überschwemmungen verursachen kann. Dazu dient entweder ein Streichwehrüberlauf (Fig. 7 und 10) oder ein Heberüberlauf[1]) (Fig. 11 und 12).

[1]) Patent Heyn in Deutschland und Patent Gregotti in Italien und anderen Ländern. Heberüberläufe können nur dort angewendet werden, wo die Gefahr des Einfrierens oder Verstopfens durch Schmiereis nicht vorliegt, also hauptsächlich in warmen Ländern und im Berginnern an Stollenanlagen. Heberüberläufe sind auch schon als Ersatz für Leerschützen mit bestem Erfolg verwendet worden (Anlage Vigevano am Tessin).

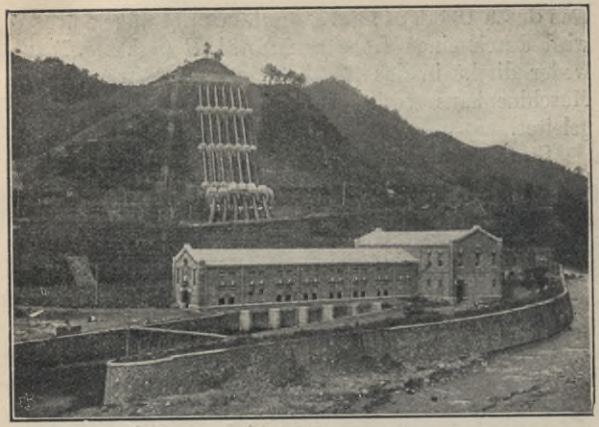

Fig. 9. Wasserkraftanlage mit Druckrohrleitungen zwischen Wasserschloß und Maschinenhaus (Anlage Katsuragawa, gebaut von den Siemens-Schuckertwerken, Berlin, mit Turbinen von Escher, Wyß & Co., Zürich).

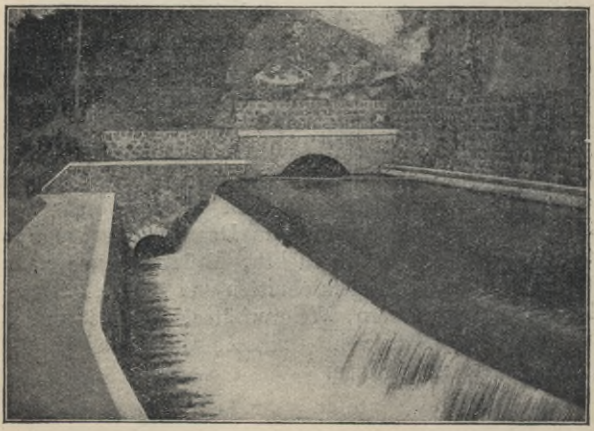

Fig. 10. Streichwehrüberlauf in Tätigkeit (Anlage Katsuragawa).

Das durch Überlauf bzw. Leerschütze abgeführte Wasser wird durch einen Leerlaufkanal *B* (vgl. Fig. 7) entweder direkt in das Flußbett zurückgeführt oder am Maschinenhaus vorbei in den Unterwasserkanal eingeleitet.

Statt der Entnahme des Wassers aus einem Fluß kommt häufig auch Entnahme aus einem von einem Fluß oder Bach gespeisten natürlichen See oder künstlichen Staubecken (Talsperre) vor. In der Wasserwirtschaft der Stausee- und Talsperranlagen einerseits und der Flußanlagen andererseits bestehen gewisse später zu erörternde Unterschiede, welche auch die Bemessung und Konstruktion der Maschinenanlage beeinflussen.

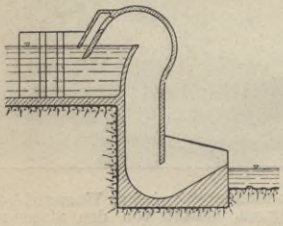

Fig. 11. Heberüberlauf.

Für die Anordnung der Wasserkraftanlagen lassen sich allgemein gültige Regeln nicht aufstellen; die einzelnen Organe müssen sich vielmehr den örtlichen Verhältnissen von Fall zu Fall anpassen, wobei sich gelegentlich die Möglichkeit, den einen oder den andern der vorstehend angeführten Bestandteile wegzulassen, oder die Notwendigkeit ergeben kann, besondere Spezialformen, wie Stollen zum Durchführen des Betriebswassers durch Bergrücken, Brückenkanäle zum Überschreiten von Bergeinschnitten und Tälern, Dückerleitungen, Staumauern, Wehraufsätze, Schützenwehre, Walzenwehre, Nadelwehre, Kiesschleußen und Floßgassen usw., anzuordnen.

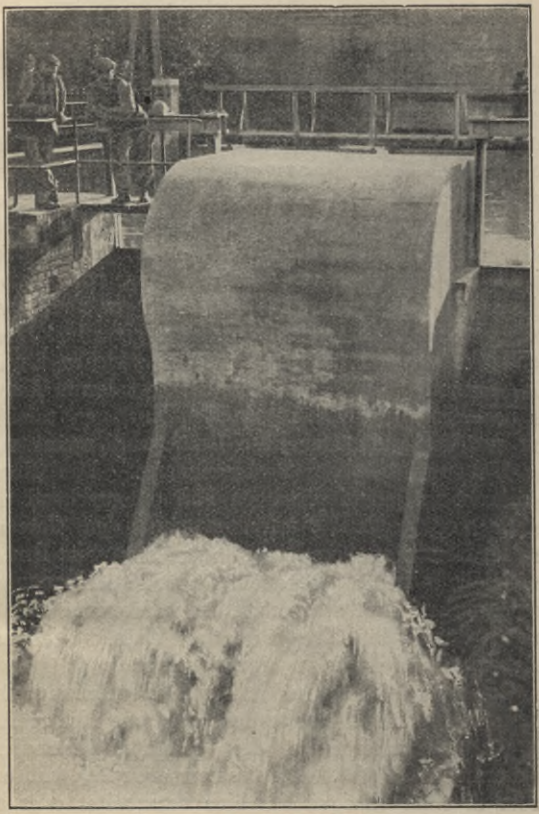

Fig. 12. Heberüberlauf in Tätigkeit.

§ 3. Die Arbeitsleistung einer Wasserturbinenanlage.

Aus Fig. 3 ist ersichtlich, daß man nicht das gesamte Rohgefälle einer Wasserkraft nutzbar machen kann. Ein Teil des Rohgefälles geht beim Transport des Wassers im Ober- und Unterwasserkanal verloren und es ergibt sich als Höhenunterschied zwischen dem betriebsmäßigen Oberwasserspiegel im Wasserschloß und dem betriebsmäßigen Unterwasserspiegel am Maschinenhaus ein kleinerer Gefällswert, der als Bruttogefälle der Anlage bezeichnet wird. Da nun aber auch auf dem Wege vom Wasserschloß zur Maschinenanlage und von der Maschinenanlage zum Unterwasser neue Energieverluste entstehen, so ist das wirksame Gefälle, welches für die Maschinenanlage selbst übrig bleibt, wiederum kleiner als das Bruttogefälle. Diesen den Turbinen tatsächlich zur Verfügung stehenden Gefällswert nennt man das Nettogefälle der Turbinenanlage. Das Nettogefälle ist in jedem einzelnen Fall entsprechend den gerade vorliegenden Umständen nach den Gesetzen der Hydraulik zu berechnen, indem man vom Bruttogefälle alle zwischen Wasserschloß und Maschinenanlage und zwischen Maschinenanlage und Unterwasserkanalanfang durch den Transport des Wassers verlorengehenden Gefällswerte in Abzug bringt.

Die maßgebenden Größen für die Beurteilung einer Wasserkraft sind einerseits das erzielbare Nettogefälle H^{meter} und andererseits die gesamte sekundliche Wassermenge $\Sigma Q^{m^3/s}$. Die Wassermenge ΣQ wird entweder in einer einzigen Maschine verarbeitet oder auf mehrere Maschinen verteilt. In letzterem Falle möge die auf eine einzelne Maschine entfallende Wasser-

menge ($^{m^3}/_s$) mit Q bezeichnet werden. Nach Analogie mit früherem gilt dann für jede Turbine:

$$E_{disp} = 1000\,Q \cdot H \quad \text{(mkg)} \quad . \; . \quad (4)$$

$$N_{disp} = \frac{1000\,Q \cdot H}{75} \quad \text{(PS)} \quad . \; . \; . \quad (5)$$

Die gesamte erzielbare sekundliche Arbeitsabgabe der Wasserkraftmaschinen einer ganzen Anlage, gemessen an den Turbinenwellen, sei mit ΣN_{welle} und diejenige einer einzelnen Maschine mit N_{welle} bezeichnet. Da verlustlose Umsetzung der Energie N_{disp} in die Energie N_{welle} nicht möglich ist, so muß N_{welle} kleiner sein als N_{disp}. Das Verhältnis beider nennt man den Totalwirkungsgrad η_{total} der Maschine:

$$\frac{N_{welle}}{N_{disp}} = \eta_{total} \quad . \; . \; . \; . \quad (6)$$

η_{total} ist nach vorstehendem immer eine Zahl kleiner als 1 und schwankt zwischen 0,75 und 0,85. Für die tatsächliche an einer Turbinenanlage erzielbare Leistung hat man demnach:

$$N_{welle} = N_{disp} \cdot \eta_{total} = \frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75} \cdot \eta_{total} \quad . \quad (7)$$

Mit $\eta_{total} = 0{,}75$ erhält man für überschlägige Rechnungen den Ausdruck

$$N_{welle} = 10\,QH \quad . \; . \; . \; . \quad (8)$$

und analog

$$\Sigma N_{welle} = 10\,\Sigma Q \cdot H \quad . \; . \; . \quad (9)$$

II. Kapitel.

Arbeitsweise und Einteilung der Wasserturbinen.

§ 4. Das Arbeitsprinzip der Wasserturbinen.

Die wichtigsten Maschinen zur Umwandlung der in den Wasserkräften vorhandenen potenziellen Energien in technisch nutzbare mechanische Arbeit sind die Wasserturbinen. Wie die Wasserturbinen beschaffen sein müssen und aus welchen Hauptbestandteilen sie bestehen müssen, ergibt folgende Überlegung.

Bringt man in Fig. 1 den Körper P auf die Gefällstrecke H und überläßt ihn dem Einfluß der Schwerkraft, so setzt er sich in Bewegung und fällt von A nach B. Dabei verschwindet allmählich die ursprünglich vorhandene potentielle Energie gegenüber der Höhenlage B. Hand in Hand damit geht eine Steigerung der Fallgeschwindigkeit. Jeder in Bewegung befindliche Körper hat nun aber infolge seiner Masse und Geschwindigkeit die Fähigkeit, eine bestimmte Energiemenge abzugeben, sobald er durch äußere Einflüsse zur Ruhe gebracht wird. Man kann also sagen: Jeder bewegte Körper enthält vermöge seiner Masse und seiner Geschwindigkeit eine bestimmte Energiemenge. Diesen Energiegehalt bezeichnet man als kinetische Energie. Gemessen wird diese letztere wie die potenzielle Energie nach Meterkilogramm, und ihr Wert berechnet sich für einen Körper vom Gewicht P kg und der Geschwindigkeit v m/sek aus folgender Gleichung:

$$E_{kinetisch} = \frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2 \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

mit $g = 9{,}81\ ^{m/s^2}$ (Schwerkraftkonstante). Im letzten Moment vor dem Auftreffen in B (Fig. 1) hat der Körper P die Geschwindigkeit

$$v = \sqrt{2gH}$$

erreicht. Seine potentielle Energie ist jetzt Null geworden; dafür ist sein Gehalt an kinetischer Energie, allmählich anwachsend, auf den Wert

$$E_{kinetisch} = \frac{1}{2}\frac{P}{g}(\sqrt{2gH})^2 = P \cdot H \text{ mkg}$$

gestiegen, d. h. das in der Höhenlage A als potenzielle Energie vorhanden gewesene Arbeitsvermögen [Gl. (1)] hat sich in ein gleichwertiges, aber als kinetische Energie vorhandenes Arbeitsvermögen verwandelt. Im Moment des Auftreffens und des Übergangs zur Ruhe in B verwandelt sich diese kinetische Energie durch den Stoß der Hauptsache nach in Wärme, was aber nicht bezweckt war. Um anstatt der Wärme nutzbare mechanische Arbeit zu gewinnen, muß man demnach den Übergang zur Ruhe in anderer Weise vor sich gehen lassen. Um zunächst den Stoß und die damit verbundene wertlose Wärmeerzeugung zu vermeiden, wird man die Bahn des Körpers P unten krümmen müssen, etwa nach Fig. 13. Läßt man den Körper die hier gezeichnete Bahn durchlaufen, so wird damit wohl der Stoß vermieden, und auch die kinetische Energie wird insofern wieder in mechanische Arbeit zurückverwandelt, als der Körper P von B aus wieder in die Höhe steigt. Allein die so geleistete mechanische Arbeit ist technisch wertlos; man muß daher die Vorrichtung von Fig. 13 weiter abändern.

Während der Körper P die gekrümmte Bahnstrecke D—E passierte, übte er auf diese einen Druck,

herrührend von der Zentrifugalkraft, aus. Es liegt nun nahe, diesen Druck zur Leistung von mechanischer Arbeit heranzuziehen, und man kann sich hierfür die in Fig. 14 dargestellte Vorrichtung ausdenken. Das Bahnstück DE, an welchem die vorerwähnte Zentrifugalkraft angreift, ist hier möglichst leicht beweglich gemacht und durch ein Gegengewicht G' ausgewuchtet. Es kann also unter dem Einflusse dieser Kraft nach unten ausschlagen. Damit es aber nicht schon beim

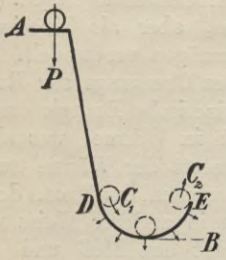

Fig. 13.

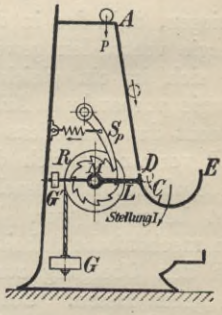

Fig. 14.

geringsten Druck weit ausschlägt und dadurch eine unerwünschte Trennung von Bahn und Körper herbeiführt, ist durch das Gewicht G, welches durch das in der Figur schematisch angedeutete Zahnsperrwerk Sp am Zurückfallen gehindert wird, ein Widerstand gegen das Ausschlagen geschaffen. Wenn nun dieses Gewicht entsprechend bemessen wird, so wird der Körper wie vorhin längs der Bahnstrecke DE hinrollen, aber dabei den Hebel L durch seinen Druck zum Ausschlag bringen, wodurch die Seilrolle R gedreht und das Ge-

wicht G in die Höhe gewunden wird. Gleichzeitig aber ist im Verhalten des Körpers P eine wesentliche Änderung eingetreten. Während er vorhin von der feststehenden gekrümmten Bahnstrecke (Fig. 13), welche er mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit C_1 und mit dem Energiegehalt $\frac{1}{2}\frac{P}{g}C_1^2$ betrat, annähernd mit der gleichen Geschwindigkeit $C_2 \cong C_1$ in den freien Raum wieder austrat, ist dies jetzt nicht mehr der

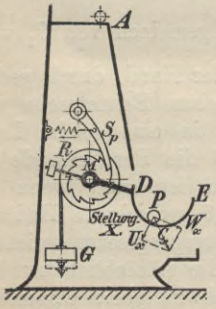

Fig. 15.

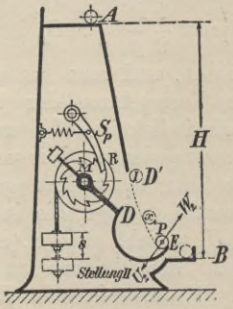

Fig. 16.

Fall. Zunächst ist der Verlauf der Geschwindigkeit des Körpers längs der ausschlagenden Bahnstrecke ein anderer als längs der feststehenden. Wenn man den Körper von der um den Punkt M rotierenden Bahn aus betrachtet, so hat er zunächst eine Geschwindigkeit C_1; dieselbe erhöht sich aber bei der getroffenen Anordnung längs der Bahnstrecke nach einem bestimmten, später näher zu untersuchenden Gesetz. In der Stellung x (Fig. 15) hat dieselbe einen bestimmten Wert W_x und in der Endstellung (Fig. 16)

einen bestimmten Wert W_2 erreicht. Infolge der Rotationsbewegung der Bahnstrecke hat aber der Körper in der Lage x außer W_x noch eine bestimmte Rotationsgeschwindigkeit U_x und in der Endstellung außer W_2 noch eine Rotationsgeschwindigkeit U_2. Die tatsächliche Geschwindigkeit des Körpers im Raume in der Stellung x ergibt sich nun als die nach dem Satz vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten zu konstruierende Resultierende C_x aus W_x und U_x (Fig. 15) und der tatsächliche Gehalt an kinetischer Energie ist jetzt $\frac{1}{2}\frac{P}{g}C_x^2$. C_x ist im allgemeinen von C_1 verschieden, und man hat es in der Hand, durch geeignete Formgebung der beweglichen Bahnstrecke die Geschwindigkeiten U_x und W_x in eine solche Lage gegeneinander zu bringen, daß die Resultierende C_x gegenüber C_1 kleiner geworden ist, und wenn es weiterhin gelänge, die in Fig. 16 gezeichnete Endlage mit U_2 gleich, parallel, aber entgegengesetzt gerichtet W_2 zu verwirklichen, so wäre die tatsächliche aus U_2 und W_2 resultierende Endgeschwindigkeit C_2 gleich Null. Die tatsächliche Geschwindigkeit des Körpers nennt man seine Absolutgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit längs der Bahn seine Relativgeschwindigkeit. Während der Körper die gekrümmte Bahn DE mit großer Geschwindigkeit zu durchlaufen glaubt, hat er sich tatsächlich auf einer ganz anderen Bahn $D'E$ (Fig. 16), die man seine Absolutbahn nennt, mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit bewegt und ist zuletzt zur Ruhe gekommen. Seine ganze eingebrachte kinetische Energie ist also scheinbar verschwunden. Während dieses Vorgangs ist aber, wie schon erwähnt, das Gewicht G um einen be-

stimmten Betrag s gehoben worden, und da — reibungslose Bahn und reibungsloses Triebwerk vorausgesetzt — keinerlei Gelegenheit zu anderweitiger Energieabgabe vorhanden ist, so muß nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie die am Gewicht G in einer, technische Verwertung wohl ermöglichenden Form geleistete Arbeit $G \cdot s$ mkg gleich der verschwundenen kinetischen Energie des Körpers P, d. h. gleich dem Wert $P \cdot H$ sein.

Damit ist das Problem, potenzielle Energien technisch nutzbar zu machen, gelöst. Es gehört dazu eine Vorrichtung, welche sich nach Fig. 14 aus zwei Hauptbestandteilen zusammensetzt, nämlich erstens aus einer materiellen beweglichen Bahnstrecke DE, welche man wegen der gekrümmten Form, die sie im allgemeinen hat, und wegen ihrer Beweglichkeit als Laufschaufel bezeichnet, und zweitens eine leitende Rinne AD, welche unter Umwandlung der potenziellen Energie in kinetische den arbeitenden Körper der Laufschaufel zuleitet (Leitapparat). Beide zusammen, der Leitapparat und die Laufschaufel, bilden die Elemente der Turbinen, und das Prinzip der Turbinen besteht demnach darin, potenzielle Energien zunächst im Leitapparat in kinetische zu verwandeln und diese mittels eines, kinetische Energiemengen absorbierenden Laufgorganes in mechanische Arbeit überzuführen.

Die vollständige Entziehung der kinetischen Energie bis zur Ruhelage des Betriebsmittels (U_2 gleich und entgegengesetzt W_2) ist in Wasserturbinen allerdings nicht möglich, denn man muß hier dem Wasser am Austritt aus der Laufschaufel immer noch eine so große Absolutgeschwindigkeit C_2 (Fig. 17) lassen, daß es von selbst aus dem Bereich der Turbine abfließt

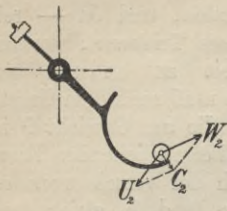

Fig. 17.

und dem stetig nachfolgenden anderen Wasser Platz macht. Der Bruchteil $\frac{1}{2}\frac{P}{g}C_2^2$ der gesamten Energie $P \cdot H$ muß daher verloren gegeben werden. Man nennt diesen Verlust den Austrittsverlust.

§ 5. Das Gesetz der Relativbewegung.

Da der Verlauf der Absolutgeschwindigkeit $C_1 - C_x - C_2$ und damit der Verlauf der Kraftabgabe längs der Schaufel vollständig von der Kombinierung von Relativgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit abhängt, so ist es von Wichtigkeit, zunächst den Verlauf der Relativbewegung näher zu untersuchen.

Betrachtet man einen, vorerst ruhend vorausgesetzten Körper B (Fig. 18) vom Punkt A einer sich bewegenden Bahn G aus, so erscheint dieser in Wirklichkeit ruhende Körper einem Beobachter in A als in Bewegung befindlich. Er scheint bei der in Fig. 18 gezeichneten Sachlage dem Beobachter entgegenzufliegen und hat also eine scheinbare (relative) Geschwindigkeit längs der Bahn A, die aber nur auf einer optischen Täuschung beruht wie z. B. das Auf- und Untergehen der Sonne und der Sterne am Himmelsgewölbe. Bewegt sich nun die vom Triebrad T angetriebene Bahn A

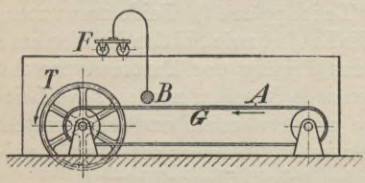

Fig. 18.

rascher, so scheint auch der Körper B, von der Bahn aus gesehen, seine Geschwindigkeit zu steigern, und umgekehrt, wenn sich die Bahn langsamer bewegt, so konstatiert der Beobachter auf der Bahn eine Verzögerung in der Relativgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsänderungen der Bahn spiegeln sich also in der Relativgeschwindigkeit als Beschleunigungen bzw. Verzögerungen wieder. Dieser Satz gilt auch, wenn der Körper B über die in Bewegung befindliche Bahn durch Fortbewegung des Wagens F weggeführt wird oder wenn er über die sich bewegende Bahn wegrollt. Einen über eine sich bewegende Bahn hinwegrollenden Körper hat man nun auch im Körper P der Fig. 14, 15, 16 (S. 22) vor sich. Die sich bewegende Bahn ist hier die Laufschaufel DE. In einer beliebigen Stellung x (Fig. 19) ergibt die Bahngeschwindigkeit U_x eine Komponente $U_x' = U_x \cos \beta_x$ (β_x = Winkel zwischen U_x und W_x, vgl. Fig. 19) entgegengesetzt der Relativgeschwindigkeit W_x. Es bewegt sich hier also der Körper mit der relativen Geschwindigkeit W_x vorwärts, während die Bahn unter ihm mit der Geschwindigkeit U_x' zurückweicht. In den nächsten Stellungen y, z ... hat die nach rückwärts gerichtete Geschwindigkeitskomponente der Bahn die Werte U_y', U_z' .... Diese Werte U_x', U_y', U_z' nehmen nun, wie Fig. 19 deutlich zeigt, von innen nach außen zu, weil mit zunehmender Entfernung von der Drehachse so-

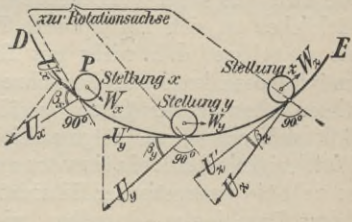

Fig. 19.

wohl die Werte U als die Werte $\cos\beta$ größer werden. Man hat also hier genau den Fall vor sich, als ob die Bahn, während der Körper P über sie wegrollt, allmählich, wie in Fig. 18 durch ein Triebrad nach rückwärts in Bewegung gesetzt würde. Wie dort, so weichen auch hier die Bahnpunkte unter dem Körper schneller und schneller zurück, und wie dort auseinandergesetzt, so muß auch hier diese Steigerung der Bahngeschwindigkeit sich in der Relativbewegung als eine Beschleunigung wiederspiegeln, welche jedoch, wie sich aus dem vorstehenden ergibt, nichts Tatsächliches an sich hat (optische Täuschung) und daher als wattlose, d. h. nicht mit Energieumsetzung verknüpfte Beschleunigung bezeichnet wird[1]). Das Gesetz dieser schon früher (S. 23) erwähnten Beschleunigung läßt sich einfach wie folgt ableiten: Entsprechend der Wattlosigkeit des Relativvorgangs darf der Körper P in relativ-energetischer Hinsicht gegenüber der Bahn beim Durchlaufen derselben nichts gewinnen und nichts verlieren. Wenn also die Bahn ihren kinetischen Energiezustand längs einer Bahnstrecke ändert, so muß der Körper P beim Durchschreiten dieser Bahnstrecke seinen relativen kinetischen Energiezustand in genau gleichem Maße mitändern, sonst wäre die obige Forderung nicht erfüllt. Den Energiezustand mißt man am Energiegehalt pro Masseneinheit. Längs der Bahnstrecke x—z (Fig. 19) erhöht sich z. B. der ki-

[1]) Der Ausdruck „wattlos" ist aus der Elektrotechnik entnommen. Das Watt ist bekanntlich die in der Elektrotechnik übliche Maßeinheit für mechanische Arbeitsleistungen ähnlich, wie das mkg/sek oder die Pferdestärke in der gewöhnlichen Maschinentechnik. Wattlos bedeutet also: nicht mit mechanischer Arbeitsleistung verbunden.

netische Energiegehalt pro Masseneinheit der Bahnpunkte um den Betrag:

$$\tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot U_z^2 - \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot U_x^2$$

Um den gleichen Wert muß auch die relativ-kinetische Energie pro Masseneinheit im Körper P, welche an der Stelle x den Wert $\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot W_x^2$ hat, während des Übergangs von Stellung x zu z anwachsen, so daß die Gleichung besteht:

$$\tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot W_z^2 - \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot W_x^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot U_z^2 - \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot U_x^2.$$

Diese Gleichung läßt sich auch wie folgt schreiben:

$$\tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot W_z^2 - \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot U_z^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot W_x^2 - \tfrac{1}{2} \cdot 1 \cdot U_x^2$$

und liefert in dieser letzteren Form den Satz: Die Differenz zwischen relativ-kinetischer Energie des Körpers und kinetischer Energie der Bahn ist längs der ganzen Bahn konstant. Man nennt diese Differenz den Energiesprung zwischen Körper und Bahn und kann also schreiben:

Energiesprung am Kanalende = Energiesprung am Kanalanfang . . . . (11)

Aus diesem zunächst für einen festen, frei über eine bewegte Bahn rollenden Körper aufgestellten Grundgesetz der wattlosen Beschleunigung werden später spezielle Gleichungen für die Relativbewegung des Wassers längs der Laufschaufel abgeleitet werden. Je nach der Sachlage kann dabei die wattlose Beschleunigung auch Null oder negativ, d. h. zu einer wattlosen Verzögerung werden. Nach Analogie mit dem Begriff Absolutbahn (S. 24) bezeichnet man hierbei die Laufschaufel selbst auch als Relativbahn des Wassers.

§ 6. Die Elemente der Wasserturbinen und ihr Zusammenbau.

Die Vorrichtung (Fig. 14, S. 22) muß für den Zweck der Wasserkraftverwertung sowohl im Leitapparat als im Lauforgan etwas abgeändert werden.

Die für die Ausbildung des Leitapparats einer Wasserturbine aus der Natur des Wassers sich ergebenden Gesichtspunkte sind folgende. Sobald der feste Körper P (Fig. 14) sich auf die Gefällstrecke begibt, beginnt sofort der Prozeß der Erzeugung kinetischer Energie. Damit diese kinetische Energie unten in richtiger Weise auf die Laufschaufel übergeleitet werden kann, muß man sie schon von Anfang an fassen, und es bleibt nichts anderes übrig, als den Leitapparat von der Laufschaufel aufwärts bis zum obersten Punkt der Gefällstrecke auszudehnen. Der augenblickliche Gehalt des festen Körpers an potenzieller und kinetischer Energie ist vollständig von der augenblicklichen Höhenlage des Körpers abhängig. Man nennt daher die potenzielle Energie eines festen Körpers auch seine Lagenenergie. Die strenge Beziehung zwischen Lagenenergie und kinetischer Energie gilt nun für Wasser als Arbeitsflüssigkeit nicht. Verlegt man längs der Gefällstrecke eine Rohrleitung EG (Fig. 20), die zunächst unten bei G verschlossen sein mag, so hat man in der mit Wasser gefüllten

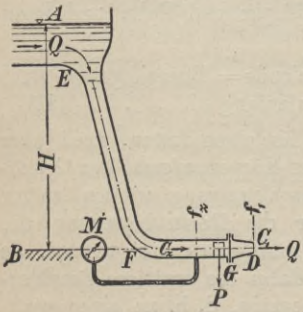

Fig. 20.

unteren Rohrstrecke FG Wasserteilchen, welche keinerlei Lagenenergie mehr gegenüber der Horizontalebene B besitzen und trotzdem, da sie sich in Ruhe befinden, auch ohne jeden Gehalt an kinetischer Energie sind. In der Rohrstrecke FG macht sich aber erfahrungsgemäß ein bestimmter innerer Überdruck bemerkbar, der an einem daran angebrachten Manometer M in Meter Wassersäule oder in Atmosphären[1]) abgelesen werden kann. Beseitigt man die Absperrung bei G, so bewirkt dieser innere Überdruck, daß das Wasser bei D mit annähernd derselben Geschwindigkeit und demselben Gehalt an kinetischer Energie ausströmt, wie wenn es die ganze Höhe H frei heruntergefallen wäre. Der innere Überdruck im Rohrstück FG hat also in Beziehung auf Erzeugung kinetischer Energie genau dieselbe Wirkung wie die Lagenenergie der festen Körper und ist demnach nur eine andere Form der aus der Höhendifferenz H sich ergebenden potenziellen Energie. Man kann daher allgemein sagen, daß eine ruhende Wassermasse vom Gewicht P kg (Fig. 20), welche unter einem inneren Überdruck von H m Wassersäule steht, vermöge dieses inneren Überdrucks einen Gehalt an potenzieller Energie von $P \cdot H$ mkg besitzt. Nach Freigabe des Querschnitts bei G stellt sich ein Durchfluß des Wassers mit stationären Druck- und Geschwindigkeitsverhältnissen in der Rohrleitung ein. Die oben bei A sekundlich zufließende und unten bei D als Wasserstrahl sekundlich ausfließende Wassermenge betrage Q m³/sek, dann gilt, mit f_1 qm Strahlquerschnitt, C_1 m/sek Austrittsgeschwindig-

[1]) 1 neue (metrische) Atm. = 1 kg/cm² = 10 Meter Wassersäule
1 alte Atm. = 1,033 kg/cm² = 10,33 Meter Wassersäule.

keit, f_z qm Zuflußquerschnitt und C_z m/sek Zuflußgeschwindigkeit längs FG, die sogenannte Kontinuitätsgleichung:

$$Q = f_1 C_1 = f_z C_z,$$

daraus

$$C_z = C_1 \frac{f_1}{f_z} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Die Wassermasse in der Rohrstrecke FG hat demnach nun außer dem am Manometer ablesbaren inneren Überdruck, der gegenüber dem zuerst abgelesenen um ein bestimmtes Maß geringer geworden ist, auch einen Gehalt an kinetischer Energie. Es läßt sich aber leicht einsehen, daß derselbe, da von der Geschwindigkeit C_z abhängig, durch Anordnung eines großen Querschnittes f_z beliebig klein gehalten werden kann, so daß der Hauptsache nach die Entwicklung der kinetischen Energie nur in dem kurzen konischen Rohrstück GD stattfindet. Der Leitapparat der Wasserturbinen braucht also, um die kinetische Energie zu fassen, durchaus nicht bis an den Oberwasserspiegel geführt zu werden. Sofern nur die Durchflußquerschnitte vom Oberwasserspiegel bis zum Leitapparat groß genug gewählt werden, läßt sich die Umwandlung der potenziellen Energie in kinetische auf eine kurze Bahnstrecke unmittelbar vor der Laufschaufel konzentrieren. Von dieser Tatsache wird in allen Wasserturbinen Gebrauch gemacht. Die Leitapparate der Wasserturbinen sind durchweg möglichst kurz gebaute düsenartige Organe, denen das Wasser mit innerem Überdruck und verhältnismäßig geringer Strömungsgeschwindigkeit zufließt und welche das Wasser mit verhältnismäßig großer Strömungsgeschwindigkeit, zum Teil ganz ohne inneren Überdruck, zum Teil aber

auch noch mit innerem Überdruck behaftet an das Lauforgan in passender Richtung weitergeben.

Das Lauforgan ist gegenüber der Vorrichtung (Fig. 14) so abzuändern, daß eine kontinuierliche Umsetzung der vom Wasser stetig zugeführten Energiemengen möglich wird. An die Stelle der einen Laufschaufel tritt das durch kreisförmige Aneinanderreihung einer Reihe von Laufschaufeln entstehende Laufrad, welches im Betrieb mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit rotiert. Es ist also jetzt im Gegensatz zu der Vorrichtung (Fig. 14) schon beim Auftreffen des Wassers auf die Laufschaufeln eine Umfangsgeschwindigkeit U_1 vorhanden, was beim Übergang vom Leitapparat zum Laufrad zu beachten ist. Die Vorrichtung (Fig. 14) liefert, zum Wassermotor ausgebaut, eine Turbine nach Fig. 21. S ist der Leitapparat (Stator), R ist das Laufrad (Rotor), den Raum s zwischen beiden nennt man den Spalt. Das Wasser strömt vom inneren Rand i des Laufrades zum äußeren Rand a; i—e ist sein Relativweg, i—a sein Absolutweg. Die Wasserbewegung enthält also eine radial nach außen gerichtete Komponente. Man nennt daher diese Turbine eine Radialturbine und zwar, weil das Wasser am innern Rand des Laufrades eintritt, eine innen beaufschlagte oder kurzweg eine innere Radialturbine. Man kann aber auch die Vorrichtung (Fig. 14) hinsichtlich des die kinetische Energie absorbierenden Lauforgans nach Fig. 22 so abändern,

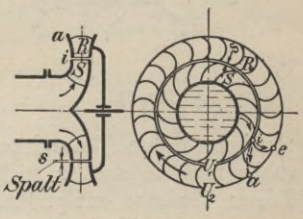

Fig. 21. Innere Radialturbine.

daß die Bewegung des Betriebsmittels vom äußeren Rand a der Laufschaufel mehr oder weniger radial zum inneren Rand i verläuft. Dieses Prinzip führt auf die äußere Radialturbine (Figur 23). Drittens kann man endlich auch das Betriebsmittel nach Figur 24 auf einem Kreiszylinder, also

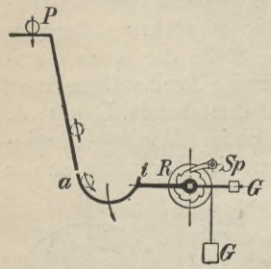

Fig. 22.

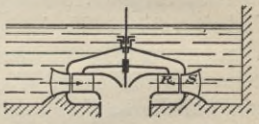
Fig. 23. Äußere Radialturbine.

mit konstantem Abstand von der Drehachse, der Hauptsache nach in axialer Richtung, sich bewegen lassen. Dieser Variante entspricht die in Fig. 25 schematisch skizzierte Axialturbine. Eine Zwischenform zu diesen drei Hauptarten ist die Konusturbine (Fig. 26 und 27). Eine weitere Spezialform ist die in Fig. 28 schematisch skizzierte äußere Radialturbine, mit schon im Laufrad mehr oder minder stark einsetzender Überführung des Wassers in axiale Austrittsrichtung (Francisturbine).

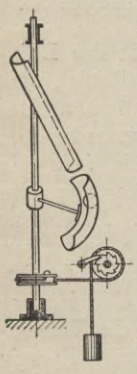
Fig. 24.

Wenn sich der Leitapparat über die ganze Eintrittsfläche des Laufrades erstreckt, so spricht man von voll beaufschlagten Laufrädern. Die Leitapparate haben dann wie die Laufräder Kranzform und werden auch Leit-

räder genannt. Sie werden mit einer größeren Anzahl von Leitschaufeln versehen (Fig. 21). Den lichten Raum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Leitschaufeln heißt man Leitkanal oder Leitzelle. Wenn der Leitapparat nur auf einen Teil der Eintrittsfläche

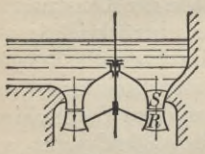

Fig. 25. Axialturbine.

Fig. 26. Innere Konusturbine.

des Laufrades Wasser einwirft, so hat man Turbinen mit teilweiser Beaufschlagung. Als Beispiel hierfür zeigt Fig. 29 eine innere Radialturbine mit einem bestimmten Beaufschlagungsbogen φ. Aus den teilweise beaufschlagten Turbinen werden, wenn der Beauf-

Fig. 27. Äußere Konusturbine.

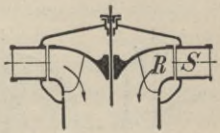

Fig. 28. Francisturbine.

schlagungsbogen ein bestimmtes Maß unterschreitet, die Strahlturbinen, deren wichtigste Vertreter die Schwamkrugturbine (Fig. 30) und die Peltonturbine (Fig. 31) sind. Die Leitapparate schrumpfen hier auf eine oder wenige selbständige Düsen zusammen, deren jede einen separaten Wasserstrahl ins Laufrad entsendet.

Alle die Laufräder der vorerwähnten Turbinen-

arten sind hinsichtlich der Fähigkeit, kinetische Energie in mechanische Arbeit zu verwandeln, theoretisch vollständig gleichwertig. Es bestehen in ihnen zwar in der Relativbewegung des Wassers, wie sich später zeigen wird, wesentliche in der Konstruktion der Turbinen zu berücksichtigende Unterschiede. Da aber die Relativbewegung nur ein scheinbarer Vorgang ist, so haben diese Unterschiede vom theoretischen Standpunkt aus keinerlei Einfluß auf das Maß der erzeugten mechanischen Arbeit. Bezüglich der praktischen Eigenschaften bestehen allerdings Unterschiede, welche zur Folge haben, daß heute in der Praxis von den vorstehend aufgezählten Turbinenformen nur einige wenige tatsächlich angewendet werden.

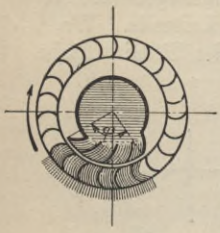

Fig. 29.
Innere Radialturbine mit teilweiser Beaufschlagung.

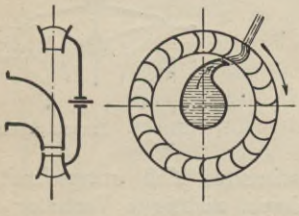

Fig. 30. Schwamkrugturbine.

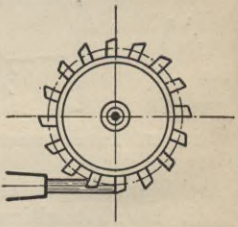

Fig. 31. Peltonturbine.

Außer Leitapparat und Laufrad besitzen die Wasserturbinen noch eine Reihe von Nebenorganen, deren wichtigste die später noch besonders eingehend zu behandelnden Reguliervorrichtungen sind.

§ 7. Die zwei verschiedenen Arbeitsprozesse des Wassers.

Wie im vorstehenden Paragraphen ausgeführt, hat der Leitapparat der Wasserturbinen außer der Überführung des Wassers in eine bestimmte Richtung die Aufgabe, die in Form von innerem Überdruck ankommende potenzielle Energie des Wassers in kinetische zu verwandeln. Diese Umwandlung kann zunächst so vorgenommen werden, daß im Leitapparat der gesamte verfügbare innere Überdruck in Bewegungsenergie übergeht, so daß also das Wasser ohne inneren Überdruck d. h. als freier Strahl den Leitapparat verläßt, ins Laufrad übertritt und dort in der im vorigen Kapitel erläuterten Weise unter allmählicher Verminderung des Gehalts an kinetischer Energie mechanische Arbeit leistet. Turbinen, in welchen das Wasser nach diesem Prinzip arbeitet, nennt man Freistrahlturbinen. Die Freistrahlturbinen sind in der Berechnung und Konstruktion die einfachsten und wurden daher im Turbinenbau zuerst fast ausschließlich angewendet. Im Laufe der Zeit erkannte man jedoch, daß der in den Freistrahlturbinen eingeschlagene Weg von der potenziellen Energie über die volle kinetische Energie zur mechanischen Arbeitsleistung sich dadurch abkürzen läßt, daß man im Leitapparat nur einen bestimmten Bruchteil des inneren Überdrucks in kinetische Energie umsetzt und den Rest mit dem Wasser ins Laufrad einleitet. Dieser Restbetrag des inneren Überdrucks wirkt im Laufrad genau so, wie der im Leitapparat verbrauchte Teilbetrag gewirkt hat, d. h. er beschleunigt die Wasserteilchen und erzeugt dadurch längs der Laufschaufeln so lange neue kinetische Energie, bis er erschöpft ist. Unmittelbar nach dem Eintritt des

Wassers ins rotierende Laufrad beginnen nun aber die Laufschaufeln sofort die eingebrachte kinetische Energie des Wassers aufzuzehren und es ist nun möglich, diese Entziehung der kinetischen Energie und den vorerwähnten Zuschuß von neuer kinetischer Energie durch besondere Gestaltung der Richtungs- und Querschnittsverhältnisse im Laufrad so zu regeln, daß längs der Laufschaufel im Wasser nicht eine Zunahme, sondern eine stetige Abnahme des resultierenden Gehalts an kinetischer Energie stattfindet, und daß nach Verlassen der Laufschaufeln das Wasser seinen inneren Überdruck ganz und seine kinetische Energie so weit als dies mit Rücksicht auf den unvermeidlichen Austrittsverlust möglich ist, verloren und dafür eine entsprechende Arbeitsleistung an die Laufschaufeln abgegeben hat. Man bringt es auf diese Weise fertig, dem Wasser seine potenzielle Energie mittelst eines Laufrades genau so zu entziehen, wie in den Freistrahlturbinen, obgleich tatsächlich nur ein Bruchteil der umgesetzten Energie — meistens nur die Hälfte — als kinetische Energie meßbar am Ende des Leitapparats in Erscheinung getreten ist. Die Turbinen mit einem nach diesem Prinzip verlaufenden Arbeitsprozeß nennt man Spaltüberdruckturbinen oder kurzweg Überdruckturbinen, um anzudeuten, daß hier das Wasser vom Leitapparat durch den Spalt zum Laufrad mit innerem Überdruck behaftet strömt.

Da die Energieverluste der Turbinen zum Teil durch die strömende Bewegung des Wassers im Leitapparat verursacht werden, so ist es natürlich sehr erwünscht, daß man das Wasser im Leitapparat der Überdruckturbinen nicht bis zum vollen Betrag, son-

dern nur etwa bis zur Hälfte mit kinetischer Energie sättigen muß. Hierin liegt ein Vorteil der Überdruckturbinen gegenüber den Freistrahlturbinen. Allerdings ist dieser Vorteil nicht gerade von wesentlichem Belang, da ihm einige Nachteile der Überdruckturbinen gegenüberstehen. Der praktische Turbinenbau hat jedoch im Laufe seiner Entwicklung gefunden, daß die beiden Systeme: Freistrahlturbinen und Überdruckturbinen sich derart ergänzen, daß ein Teil des Anwendungsgebietes der Wasserturbinen widerspruchslos den Freistrahlturbinen zufällt und der andere Teil in ebenso ausgesprochener Weise den Überdruckturbinen gehört. Die praktisch erreichbaren Wirkungsgrade sind in beiden Systemen in den Höchstwerten ungefähr gleich. Die wichtigsten Vertreter der Freistrahlturbinen sind im modernen Turbinenbau die Peltonturbinen Fig. 31 (S. 36) und in zweiter Linie die Schwamkrugturbinen Fig. 30 (S. 36). Von den Überdruckturbinen kommen für den modernen Turbinenbau nur noch die Francisturbinen (Fig. 28) in Betracht. Alle übrigen Turbinenarten haben nur noch geschichtliches Interesse und werden daher im folgenden nur soweit gestreift, als zum Verständnis der drei obigen Arten erforderlich ist.

In der Relativbewegung des Wassers kommt der Spaltüberdruck als eine treibende Relativkraft, welche die Relativbewegung beschleunigt, zur Wirkung. Das Wasser ist nicht mehr, wie in der Betrachtung S. 26 vorausgesetzt, frei sich selbst überlassen; infolgedessen erweitert sich das Gesetz der Relativbewegung hier wie folgt: Der Energiesprung zwischen Wasser und Bahn bleibt im Laufkanal der Überdruckturbinen nicht konstant, sondern wächst um den Betrag der

verschwindenden Überdruckenergie. Man hat also hier die Gleichung:

Energiesprung am Kanalende — Energiesprung am Kanalanfang = Überdruckenergie am Kanalanfang — Überdruckenergie am Kanalende (13)

Nebenbei sei bemerkt, daß man in ähnlicher Weise wie hier von ins Laufrad eingebrachter Überdruckenergie genau genommen auch von ins Laufrad eingebrachter Lagenenergie sprechen müßte. Wenn an der Vorrichtung (Fig. 14) der arbeitende Körper den

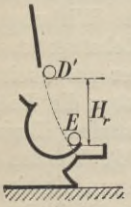

Fig. 32.

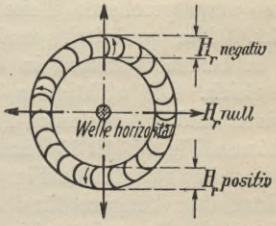

Fig. 33.

Leitapparat in D' und die Laufschaufel in E verläßt (Fig. 32), so hat er auf die Laufschaufel die Lagenenergie $P \cdot H_r$ mkg mitgebracht, und diese Lagenenergie ist genau wie der innere Überdruck auf dem Umweg über kinetische Energie in mechanische Arbeit verwandelt worden. In Wasserturbinen nennt man den Vertikalabstand H_r das Radgefälle. Dasselbe kann je nach der Lage der Welle positiv, null oder negativ sein, wie Fig. 33 (innere Freistrahlturbine mit horizontaler Welle) beispielsweise zeigt. In genauen Turbinenuntersuchungen macht es sich wohl bemerkbar; für gewöhnliche Zwecke läßt sich jedoch von einer Ver-

folgung seines Einflusses absehen, und es wird daher auch weiterhin keine Rücksicht darauf genommen, ob eine Turbine mit horizontaler, vertikaler oder schräg-liegender Welle aufgestellt wird.

Die rechnerische Untersuchung der Arbeitsprozesse des Wassers wird in dem nachfolgenden Paragraphen allgemein kurz erläutert und später im Zusammenhange mit der Betrachtung der verschiedenen Turbinenarten eingehend erörtert werden. Hier sollen nur noch zwei Begriffe, welche diese Untersuchung erleichtern, eingeführt werden.

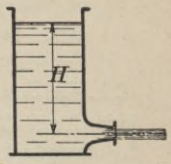

Fig. 34.

An der Ausmündung eines Freistrahlleitapparates nach Fig. 34 müßte bekanntlich theoretisch die Wassergeschwindigkeit

$$C = \sqrt{2gH} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

entstehen. Infolge der Reibungsverluste des Wassers entsteht jedoch tatsächlich eine etwas geringere Geschwindigkeit

$$C_1 = c_1 \sqrt{2gH} \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Die Größe c_1 ist eine Zahl kleiner als 1. Sie gibt ein Maß dafür, wie nahe die praktisch erreichte Wassergeschwindigkeit C_1 der theoretisch möglichen Geschwindigkeit C gekommen ist. Sie hängt nur von der Ausführung des Leitapparates ab und wird durch Versuch bestimmt. Erhält man aus zwei unter verschiedenem Gefälle stehenden Leitapparaten Wasserstrahlen, welche den gleichen Wert c_1 ergeben, so sind diese beiden Wasserstrahlen, obgleich ihre Absolutgeschwindigkeiten C_1 ganz verschiedene Werte haben werden, in bezug auf die Geschwindigkeitserzeugung

gleichwertig. Um dies auszudrücken, sagt man, die Strahlen haben dieselbe „Schnelligkeit". Als zahlenmäßigen Ausdruck für diese Schnelligkeit nimmt man eben die Größe c_1 und sagt: der Wert c_1 stellt die Schnelligkeit der beiden Wasserstrahlen dar. Aus Gl. (15) folgt die Definitionsgleichung:

$$c_1 = \frac{C_1}{C} = \frac{C_1}{\sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

d. h. die Schnelligkeit ergibt sich aus der Geschwindigkeit durch Division derselben mit $\sqrt{2gH}$. Da sich die Schnelligkeit c_1 auf die Geschwindigkeit des frei austretenden Wasserstrahles bezieht, so nennt man sie speziell die Freistrahlschnelligkeit oder kurzweg Freistrahlschnelle. Analog kann man aber auch für die sämtlichen übrigen in der Untersuchung des Arbeitsprozesses in Betracht kommenden Absolut- und Relativgeschwindigkeiten des Wassers und auch für die Geschwindigkeiten des Laufrades entsprechende Schnelligkeiten bestimmen. Beispielsweise tritt an die Stelle der Umfangsgeschwindigkeit U_1 des Laufrades am Eintritt (S. 33) die Umfangschnelle

$$u_1 = \frac{U_1}{\sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Analog hat man am Laufradaustritt die Umfangschnelle

$$u_2 = \frac{U_2}{\sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

und der ideellen Geschwindigkeit $C = \sqrt{2gH}$ (Gl. 14) entspricht nach vorstehender Regel die Schnelligkeit c gleich 1. Da Geschwindigkeiten und Schnelligkeiten

proportionale Größen sind und für ein bestimmtes Gefälle $\left(H = \frac{1}{2g}\right)$ sogar identisch werden, so gelten alle Gesetze und alle algebraischen Beziehungen zwischen Geschwindigkeiten auch für Schnelligkeiten, und da die Rechnung mit Schnelligkeiten der Rechnung mit Geschwindigkeiten gegenüber verschiedene Vorteile, hauptsächlich den der Unabhängigkeit von der zufälligen Größe des in der Praxis die mannigfaltigsten Werte annehmenden Nettogefälles, besitzt, so werden in den folgenden Betrachtungen meistens an die Stelle der Geschwindigkeiten die Schnelligkeiten gesetzt.

Eine wichtige Eigenschaft der Schnelligkeitsziffern ist folgende. Hat das Wasser an einer bestimmten Stelle seines Durchflusses durch eine Turbine die absolute Geschwindigkeit C_x und dementsprechend eine absolute Schnelligkeit c_x

$$c_x = \frac{C_x}{\sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

so ergibt sich der augenblickliche Gehalt an kinetischer Energie nach Gl. (10) (S. 20) und Gl. (4) (S. 19):

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1000\,Q}{g} \cdot C_x^{\,2} = c_x^{\,2} \cdot 1000\,QH = c_x^{\,2} \cdot E_{disponibel} \quad (20)$$

Daraus folgt der Satz: Das Quadrat der Schnelligkeitsziffer der Absolutbewegung gibt für jede beliebige Stelle in der Turbine an, welcher Bruchteil der gesamten disponiblen Energie augenblicklich in Form von kinetischer Energie im Wasser vorhanden ist. Man kann also den Gehalt des Wassers an Strömungsenergie an zwei verschiedenen Stellen einfach dadurch vergleichen, daß man die Schnelligkeitsquadrate an

beiden Stellen berechnet. Das Schnelligkeitsquadrat ist somit ein Maß für die Strömungsenergie und wird daher weiterhin als „Energiegrad" bezeichnet. Der Energiegrad mit 100 multipliziert gibt Energieprozente.

Der Begriff Energiegrad läßt sich nicht nur auf die Absolutbewegung des Wassers, sondern auch auf seine Relativbewegung zur Untersuchung der relativen Strömung als vergleichendes Energiemaß anwenden; ebenso ferner auch auf die Massenteilchen des rotierenden Laufrades selbst, wenn es sich darum handelt, die Energiezustände der verschiedenen Punkte der rotierenden Laufbahn zu vergleichen, wie dies in der Betrachtung der Relativbewegung (Energiesprung) vorkommt. Endlich kann man den Begriff Energiegrad auch auf Druckenergien ausdehnen und dadurch eine Vergleichsbasis für Druck- und Strömungsenergie wie folgt schaffen: Ein Druck von p Meter Wassersäule an irgendeiner Stelle der Turbine wäre imstande, eine Geschwindigkeit $C_p = \sqrt{2gp}$ oder eine Schnelligkeit

$$c_p = \frac{C_p}{\sqrt{2gH}} = \sqrt{\frac{p}{H}}$$

zu erzeugen.

Der Energiegrad c_p^2 dieser Schnelligkeit

$$c_p^2 = \frac{p}{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

läßt sich nun ohne weiteres in der Rechnung als eine den Strömungsenergiegraden vollständig gleichartige Größe behandeln.

Von diesen Ergebnissen wird in der rechnerischen Untersuchung der Arbeitsprozesse des Wassers Gebrauch gemacht werden.

§ 8. Einführung in die Behandlung der Schaufelungsprobleme; die rechnerische und graphische Untersuchung der Arbeitsprozesse,

erläutert an der axialen Freistrahlturbine.

Das Wasser muß in den Turbinen gezwungen werden, eine solche Strömung anzunehmen, daß die gewünschte Arbeitsabgabe möglichst verlustlos erfolgt. Zu dem Zweck müssen Leitapparat und Laufrad nach bestimmten, in allen Turbinensystemen sich wiederholenden Fundamentalregeln gebaut werden. Diese Fundamentalregeln und die Fundamentalbegriffe der Turbinenschauflung sollen nachstehend an der einfachsten Turbinenart, der axialen Freistrahlturbine (Fig. 35) entwickelt werden. Um den Schnelligkeitsverhältnissen dieser Turbine näher zu kommen, führt man einen kreiszylinderförmigen Schnitt durch die Mitte von Leitapparat und Laufrad, wickelt diesen Zylinderschnitt mit Durchmesser D_1 in die Ebene ab und erhält so den sogenannten Schaufelplan (Fig. 36). Man ersieht aus diesem Schaufelplan, wie das Wasser aus dem Leitapparat in das Laufrad übertritt, in welcher Weise es das Laufrad durchströmt und verläßt. Im Leitapparat füllt die durchströmende Wassermasse die einzelnen Leitzellen, von denen jede einen Leitkanal mit der Kanalachse k_0 bildet. An den Lauf-

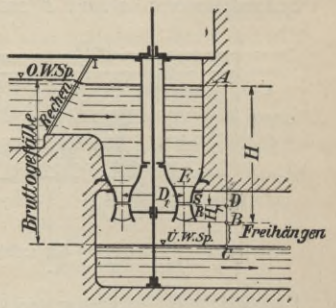

Fig. 35. Axiale Freistrahlturbine.

schaufeln unterscheidet man die Vorderschaufel s und die Rückschaufel s'. Auf die Vorderschaufel drückt der arbeitende Wasserstrahl. Die Rückschaufel wird in Freistrahlturbinen aus später zu erörternden Gründen so geformt, daß sich der Wasserstrahl, wie in Fig. 36 gezeichnet, von ihr ablöst. Der mittlere Wasserfaden k (Kurve DE) des Wasserstrahls im Laufkanal heißt die Laufkanalachse. Von dieser Laufkanalachse weichen die übrigen Wasserfäden und auch die Schaufelkurven s und s' meistens etwas ab. Der hydraulischen Untersuchung wird der mittlere Wasserfaden zugrunde gelegt. Das wirksame Gefälle am Leitradende ist bei der in Fig. 35 gezeichneten Sachlage gleich AD. Im Laufrad wird noch das Radgefälle H_r wirksam, so daß das ganze verarbeitete Nettogefälle H gleich AB ist. Zur Vereinfachung der Rechnung wird angenommen, daß am Leitradende bereits das ganze Nettogefälle H zur Wirkung komme und dafür ein Radgefälle nicht vorhanden sei. Die Gefällstrecke BC (Fig. 35) vom Laufradausguß bis zum Unterwasserspiegel heißt man das „Freihängen" der Turbine. Dieses Freihängen ist natürlich verlorenes Gefälle. Es wird so klein als möglich gemacht, läßt sich jedoch in Freistrahlturbinen meistens nicht ganz vermeiden. Man muß daher hierfür bei der Berechnung des Nettogefälles aus dem Bruttogefälle einen bestimmten Betrag in Abzug bringen.

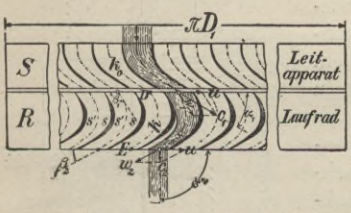

Fig. 36. Schaufelplan der axialen Freistrahlturbine.

Aus dem Leitrad strömt das Wasser mit einer Geschwindigkeit $C_1 = c_1\sqrt{2gH}$ unter einem bestimmten absoluten Eintrittswinkel α_1 (Fig. 36) gegen die Umfangstangente ins rotierende Laufrad ein. Die Schnelligkeit c_1 wäre als Freistrahlschnelle im idealen Fall gleich c, d. h. gleich 1. In Wirklichkeit geht vom Energiegrad c^2 ein Teil c_v^2 im Leitapparat verloren, so daß man für den verbleibenden Energiegrad c_1^2 hat:

$$c_1^2 = c^2 - c_v^2 = 1 - c_v^2 \quad . \quad . \quad (22)$$

Die Zahl c_v^2 gibt also an, welchen Bruchteil der Gesamtenergie der Leitapparatverlust ausmacht; sie ist nach Versuchsergebnissen zu bestimmen.

Den mittleren Durchmesser D_1 (Meter) des Laufrads am Eintritt bezeichnet man als Eintrittsdurchmesser. Macht die Turbinenwelle n Umdr./min, so ist die Umfangsgeschwindigkeit U_1 am Laufradeintritt

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}$$

und man hat demnach für die entsprechende Umfangschnelligkeit den Ausdruck:

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60\sqrt{2\,gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

Die Umfangschnelligkeit u_2 am Laufradaustritt ist gleich u_1, da der ganze Zylinderschnitt mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotiert. Man braucht also im vorliegenden Falle zwischen u_2 und u_1 nicht zu unterscheiden und setzt daher wie in Fig. 36 und 37

$$u_1 = u_2 = u.$$

Einem Beobachter auf dem Laufrad scheint infolge der Rotationsbewegung des Laufrades das Wasser

nicht unter dem Winkel α_1 und mit der Schnelligkeit c_1 (Fig. 37) aus dem Leitrad zu entströmen, sondern unter einem andern Winkel β_1 und mit einer andern Schnelligkeit w_1, welch letztere mit u und c_1 in der Weise zusammenhängt, daß c_1 die Diagonale des Parallelogramms aus u und w_1 sein muß, wie im Schaufelplan (Fig. 36) und in Fig. 37 dargestellt. Diese Regel ermöglicht die graphische Bestimmung von w_1. Die Aufzeichnung des ganzen Parallelogramms wie in

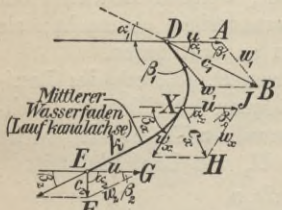

Fig. 37.

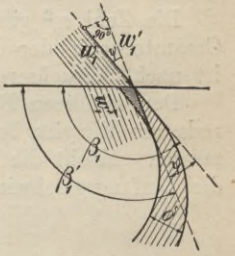

Fig. 38.

Fig. 36 ist jedoch hierbei nicht nötig. Man erhält vielmehr die Schnelligkeit w_1 (relative Eintrittschnelle) der Größe und Richtung nach als schließende Seite eines Dreiecks DAB aus u, α_1 und c_1 (Fig. 37). Dieses Dreieck nennt man das Eintrittsdreieck des Arbeitsprozesses. Unter dem daraus zu entnehmenden Winkel β_1 (relativer Eintrittswinkel) beginnt das Wasser seine Tätigkeit im Laufrad. Die Laufschaufeln müssen sich dieser Relativrichtung anpassen und ebenfalls mit dem Winkel β_1 beginnen (Fig. 37), andernfalls würde an den Schaufelanfängen ein energieverzehrender Wasserstoß auftreten. Infolge der endlichen

Schaufelstärken ist jedoch auch bei richtiggestellter Laufschaufel ein kleiner Wasserstoß an der Eintrittskante nicht zu umgehen. Man schärft die Eintrittskanten natürlich zu (Fig. 38), damit sie dem in der Richtung β_1 gegen sie anströmenden Wasser möglichst wenig Stirnfläche darbieten; aber man kann mit dem Zuschärfungswinkel ψ aus praktischen Gründen nicht unter ein bestimmtes Maß heruntergehen. Infolgedessen entsteht am Laufschaufelanfang eine plötzliche Richtungsänderung um den kleinen Winkel ψ, welche das Wasser nicht annimmt, ohne einen Energieverlust zu erleiden, der allerdings der Größe nach nicht genau bekannt ist. Die ungünstigste Annahme über diesen Verlust ist die, daß von der Geschwindigkeit w_1 nach vollzogener Richtungsänderung nur noch die Längskomponente

$$w_1' = w_1 \cos\psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

vorhanden und die Querkomponente $w_1 \sin\psi$ vollständig durch Stoß in Wärme verwandelt worden sei. In Wirklichkeit wird nun zwar nach neueren Untersuchungen w_1' größer werden als Gl. (24) ergibt; doch empfiehlt es sich, zur Sicherheit etwas ungünstig zu rechnen und für die hinter der Laufschaufelspitze bestehende relative Schnelligkeit in der Weiterrechnung den Wert von Gl. (24) beizubehalten.

Die Laufschaufel führt nun das Wasser in solcher Bahn weiter, daß durch die Kombination von Umfangschnelligkeit und relativer Schnelligkeit eine allmähliche Verlangsamung der Absolutbewegung bewirkt und damit das Wasser zur Arbeitsleistung gezwungen wird. Nach Früherem (S. 25) muß am Laufradaustritt noch eine bestimmte absolute Austrittsgeschwindig-

keit C_2 und eine dementsprechende absolute Austrittsschnelle c_2 vorhanden sein. Der Energiegrad c_2^2 dieser Schnelligkeit ist der Austrittsverlust der Turbine.

Das Gesetz der Relativbewegung des Wassers ergibt sich durch Anwendung des Satzes vom Energiesprung, wobei man zur Vereinfachung der Rechnung die Vergleichung der Energiezustände mittels des Begriffs Energiegrad vornimmt (vgl. S. 44). Da im vorliegenden Fall alle Bahnpunkte mit gleicher Geschwindigkeit u rotieren, so tritt in ihrem kinetischen Energiegrad u^2 längs der ganzen Bahn keine Änderung ein und es muß daher dasselbe auch im Energiegrad der Relativbewegung der Fall sein. Für die Relativschnelle w_2 am Laufradaustritt (Fig. 37) und für die Relativschnelle w_x an einem beliebigen Zwischenpunkt zwischen Ein- und Austritt hat man demnach — reibungsfreie Bahn vorausgesetzt — die Bedingungsgleichung:

$$w_2^2 = w_x^2 = w_1'^2.$$

Daraus

$$w_2 = w_x = w_1',$$

d. h. die Relativbewegung müßte im vorliegenden Fall mit konstanter Geschwindigkeit vor sich gehen; die wattlose Beschleunigung ist Null. Infolge der hemmenden Einflüsse von Reibungswiderstand, Krümmungswiderstand, Wirbelbildung im Wasser tritt jedoch eine geringe Verzögerung ein, so daß

$$w_2 < w_x < w_1'$$

wird.

Der Energiegrad der längs der Schaufel verlorengehenden und in Form von Wärme entweichenden

Energie ist $(w_1'^2 - w_2^2)$. Bezeichnet man ihn mit w_v^2, so hat man:

$$w_1'^2 - w_2^2 = w_v^2 \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

somit

$$w_2^2 = w_1'^2 - w_v^2 \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Der Wert w_v^2 ist wie der Wert c_v^2 nach Bremsergebnissen an ausgeführten Turbinen zu bestimmen. Es muß zu dem Zweck untersucht werden, wieviel Prozente der disponiblen Energie im Laufrad durch Reibung, Krümmung und Wirbelbildung verloren gehen. Die Anzahl der so erhaltenen Prozente setzt man gleich $100\, w_v^2$ und berechnet daraus w_v^2 und w_v.

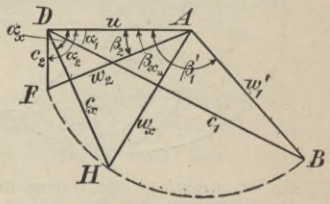

Fig. 39. Schnelligkeitsdiagramm der axialen Freistrahlturbine.

Die Schnelligkeiten am Laufradaustritt: c_2, w_2, u bilden zusammen das Austrittsdreieck EFG (Fig. 37). Legt man dieses Austrittsdreieck auf das Eintrittsdreieck so, daß die Seiten u zusammenfallen, so entsteht ein Diagramm nach Fig. 39. In dieses Diagramm, das man das Schnelligkeitsdiagramm des Arbeitsprozesses nennt, kann man auch jedes beliebige Zwischendreieck z. B. das Schnelligkeitsdreieck XIH am Zwischenpunkt X (Fig. 37) einzeichnen. Man ersieht dann aus dem Diagramm, wie die absolute Schnelligkeit des Wassers von c_1 über c_x auf c_2 abnimmt und wie der Richtungswinkel der Kurve des mittleren Wasserfadens von β'_1 über β_x auf β_2 sich ändern muß, damit dies erreicht wird. Die genaue Fixierung des Austritts-

dreiecks und der Zwischendreiecke und damit die Fixierung der Kanalachse DXE (Fig. 37), ergibt sich wie folgt. Der in den Gleichungen (24) und (26) niedergelegte Zusammenhang zwischen w_1 und w_2 ermöglicht die Bestimmung von w_2, die man rechnerisch oder wie in Fig. 40 angedeutet, graphisch mit Hilfe der rechtwinkligen Dreiecke ABK und AKL vornehmen kann. Nachdem w_2 berechnet oder in der Strecke AL der Größe nach graphisch gefunden ist, beschreibt man um A (Fig. 40) einen Kreisbogen mit Radius w_2 und kann nun auf diesem Kreisbogen die Spitze F des Austrittsdreiecks beliebig wählen. Die Wahl von F bestimmt die Größe c_2 und damit den Energiegrad c_2^2 des Austrittsverlustes. Die Dreieckseite c_2 macht man daher möglichst klein, d. h. so klein, als mit der Rücksicht auf die Abführung des verarbeiteten Wassers verträglich ist (vergl. S. 25). Der Austrittsverlust ist also im großen ganzen frei wählbar; er schwankt je nach der Turbinenart in der Praxis gewöhnlich zwischen 1 und 6%, wird aber auch unter Umständen in Zwangslagen noch bedeutend höher angenommen. Die entsprechenden absoluten Austrittschnelligkeiten c_2 ergeben sich zu:

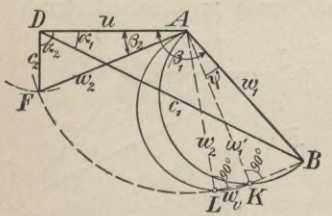

Fig. 40. Graphische Bestimmung des Austrittsdreiecks aus dem Eintrittsdreieck.

$$100\, c_2^2 = 1 \div 6$$

$$c_2 = \sqrt{0{,}01} \div \sqrt{0{,}06} = 0{,}10 \div 0{,}24.$$

Nachdem über c_2 eine Annahme getroffen ist, beschreibt man um D einen Kreisbogen mit Radius c_2,

welcher den Kreisbogen um A im gesuchten Punkt F schneidet, womit das Austrittsdreieck mit den Winkeln α_2 und β_2 gefunden ist. Der Winkel β_2 darf dabei nicht gar zu klein werden, weil sonst die Herstellung des Laufrades konstruktiven Schwierigkeiten begegnet, und der Winkel α_2 soll ungefähr 90 Grad betragen, weil ein Laufrad, welches mit $\alpha_2 = 90^0$ ausgießt (Fig. 41), das Abwasser auf dem kürzesten Weg ins Unterwasser befördert. Auf die Arbeitsleistung des Wassers ist die Richtung von c_2 ohne Einfluß; eine beim Diagrammentwurf sich ergebende Austrittschiefe ($\alpha_2 >$ oder $< 90^0$) hat daher in den Freistrahlturbinen keinerlei nachteilige Folgen, nur muß man sich natürlich von den auf unzulässige Verhältnisse führenden Grenzwerten $\alpha_2 = 0$ und $\alpha_2 = 180^0$ tunlichst fernhalten. Die Laufkanalachse DXE (Fig. 42), welche die Formgebung des Laufkanals und damit der Laufschaufeln s und s' bestimmt, beginnt unter dem Winkel β'_1 und muß unter dem Winkel β_2 enden. Ihre Form zwischen Ein- und Austritt wird durch die drei folgenden Forderungen bestimmt:

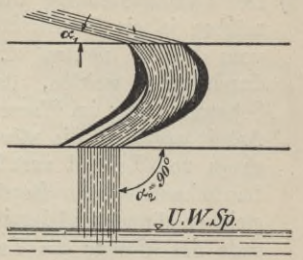

Fig. 41.

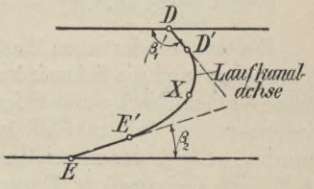

Fig. 42.

1) Der Übergang von der Richtung β'_1 in die Richtung β_2 muß ein stetiger sein.
2) Der Laufkanalanfang und die Laufkanalendigung müssen je ein kurzes Stück weit (DD' und $E'E$) vom Wasser neutral d. h. ohne Arbeitsleistung durchflossen werden, damit sich einerseits am Schaufelanfang im Wasserstrahl vor Beginn seiner Arbeit zunächst die störenden Einflüsse des Übergangs vom Leitrad zum Laufrad und die von den Laufschaufelspitzen herrührenden Störungen ausgleichen können und damit andererseits am Schaufelende das Wasser die Laufschaufel in geordnetem ruhigem Strahl verläßt, was nicht möglich wäre, wenn das Wasser am Schaufelende noch arbeiten, d. h. auf die Schaufelendigung drücken würde.
3) Auf die übrig bleibende Laufkanalpartie $D'E'$ soll sich die Arbeitsleistung des Wassers möglichst gleichmäßig verteilen.

Weitere Forderungen bestehen nicht. Die Laufkanalachse und die Schaufelkurven s und s' sind daher keine mathematisch genau fixierbaren Kurven; sie müssen vielmehr von Fall zu Fall durch Probieren bestimmt werden. Längs der neutralen Kanalstrecken DD' bzw. $E'E$ muß der absolute Energiegrad des Wassers konstant bleiben. Alle Schnelligkeitsdreiecke längs DD' bzw. $E'E$ haben also außer der Seite u auch die Seite der Absolutschnelle gleich und sofern die geringen durch Reibung verursachten Änderungen in der Relativschnelle längs der neutralen Strecken vernachlässigt werden, trifft dies auch für die Seite der Relativschnelle zu, so daß die Schnelligkeitsdreiecke längs DD' unter sich kongruent werden und ebenso diejenigen

längs $E'E$. Dies hat zur Folge, daß auch der Relativwinkel β konstant ist und daß demnach die Laufkanalachse in den neutralen Strecken geradlinig verläuft wie in Fig. 42 gezeichnet.

Um eine Kontrolle über die Verteilung der Wasserarbeit längs einer zunächst nach Gutdünken entworfenen Laufschaufel s zu erhalten, rektifiziert man die Laufkanalachse $DD'XE'E$, verzeichnet senkrecht über der so entstehenden geraden Strecke DE (Fig. 43)

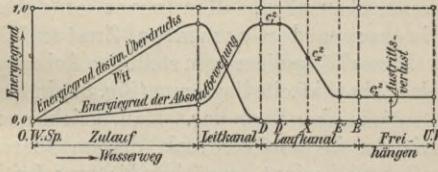

Fig. 43. Längsdiagramm der axialen Freistrahlturbine.

eine Kurve der Relativschnelle w und eine Kurve der Relativrichtung β. Die Kurve w kann man der Einfachheit halber als geradlinig von w_1' auf w_2 abfallend annehmen. Die Kurve β ergibt sich aus der Laufkanalachse durch punktweises Aufzeichnen. Man kann nun für jede beliebige Stelle X w_x und β_x entnehmen, mit u, w_x, β_x das Schnelligkeitsdreieck in Fig. 39 einzeichnen, daraus die sich so ergebende momentane Absolutschnelle c_x entnehmen und den entsprechenden absoluten Energiegrad c_x^2 in das Diagramm (Fig. 43) eintragen. Durch Wiederholung des Verfahrens längs der ganzen Basis DE ergibt sich die Kurve c_x^2, welche

mit c_1^2 beginnt, mit c_2^2 endigt und auf den neutralen Stücken von D bis D' und von E' bis E parallel zur Diagrammbasis verläuft. Von D' bis E' soll die Kurve geradlinig abfallen; wenn sie dies nicht tut, so muß die Laufkanalkurve solange verbessert werden, bis dies der Fall ist, womit dann wegen gleichförmiger Energiegradabnahme eine gleichmäßige Verteilung der Arbeitsleistung längs der Laufschaufel erreicht ist.

In dem Diagramm Fig. 43 kann man, wie in dieser Figur schematisch angedeutet, auch die Verhältnisse längs der Leitkanalachse und den Zufluß des Wassers vom Oberwasserspiegel bis zum Leitkanal, ferner den Abfluß des Wassers vom Laufkanalende bis zum Unterwasserspiegel veranschaulichen. Man nennt es daher das Längsdiagramm der gesamten Zustandsänderungen. Dieses Längsdiagramm stellt den Arbeitsprozeß in einer das Schnelligkeitsdiagramm (Fig. 39) in mancher Hinsicht ergänzenden Form dar. Man ersieht aus demselben, wie der innere Überdruck, der am Oberwasserspiegel mit null beginnt, zunächst bis zum Leitkanalanfang ansteigt, dort seinen Höchstwert erreicht, dann im Leitkanal rasch auf null abnimmt und dabei, wie die Kurve des absoluten Strömungsenergiegrades zeigt, zur Erzeugung von kinetischer Energie verbraucht wird, deren Höchstwert c_1^2 am Leitradende auftritt; ferner sieht man, wie dieser Strömungsenergiegrad c_1^2 längs der Laufkanalachse infolge der energieabsorbierenden Wirkung des Laufrades wieder abnimmt und auf den Energiegrad c_2^2 des Austrittsverlustes zurückgeht.

Da die Schnelligkeiten reine vom Gefälle unabhängige Zahlen sind, so kann ein einmal richtig entworfenes Schnelligkeitsdiagramm im allgemeinen für

ganz beliebige Gefälle und Wassermengen verwendet werden. Die Reihe der möglichen Schnelligkeitsdiagramme, welche den Gleichungen 24 und 26 genügen, erscheint nun auf den ersten Blick fast unbegrenzt; denn, wenn auch die Diagrammgröße c_1 nur in engen Grenzen, etwa zwischen 0,92 und 0,98 schwanken kann, so scheint doch durch die Freiheit in der Wahl von u, α_1, c_2, α_2 eine endlose Variierungsmöglichkeit gegeben zu sein. Es zeigt sich aber bei näherer Prüfung die Tatsache, daß im Eintrittsdreieck der Freistrahlturbinen die Umfangschnelle u nicht größer als etwa 0,49 und nicht kleiner als etwa 0,43 werden darf und der Winkel α_1 etwa zwischen 5^0 und 30^0 liegen muß, andernfalls es nicht möglich ist, zum Eintrittsdreieck ein brauchbares Austrittsdreieck zu finden. Derartige Begrenzungen in der Wahl einzelner Größen des Schnelligkeitsdiagramms bestehen in allen Turbinensystemen und die scheinbar regellose Mannigfaltigkeit der zur Wahl stehenden Diagramme wird dadurch so eingeschränkt, daß man tatsächlich alle in der Praxis vorkommenden Aufgaben des Wasserturbinenbaues mit verhältnismäßig wenigen, sich von Fall zu Fall wenig ändernden Schnelligkeitsdiagrammen erledigen kann.

In ähnlicher Weise wie vorstehend der Arbeitsprozeß und die Laufschaufel der axialen Freistrahlturbine an Hand von Schnelligkeitsdiagramm und Längsdiagramm untersucht worden ist, sind auch die Arbeitsprozesse und die Schaufelungen der übrigen Turbinensysteme zu behandeln. Die Untersuchungen werden in Radialturbinen und in Überdruckturbinen etwas komplizierter. Die Grundgedanken bleiben aber immer dieselben.

§ 9. Die Energieverluste in den Wasserturbinen, hydraulischer und mechanischer Wirkungsgrad.

Wie aus den Turbinenskizzen des § 6 ersichtlich ist, sind die Wasserturbinen Maschinen von hervorragender Einfachheit. Immerhin sind Energieverluste in ihnen, wie die vorhergehende Betrachtung gezeigt hat, nicht zu vermeiden, und es entspringt daraus der im Gesamtwirkungsgrad η_{total} (S. 19) zum Ausdruck kommende Unterschied zwischen der mit dem Wasser einer Turbine zugeführten sekundlichen Energie N_{disp} und der an der Turbinenwelle abgeführten Energie N_{welle}. Die Verlustquellen sind folgende:

1) Einlaufverlust und Reibungsverlust[1]) im Leitapparat;
2) Energieverluste beim Übergang vom Leitapparat zum Laufrad;
3) Einlaufverlust und Reibungsverlust[1]) im Laufrad;
4) Austrittsverlust;
5) Verlust durch mechanische Reibung (Luft- und Lagerreibung).

Die Verluste 1 bis 4 nennt man hydraulische Verluste. Zieht man von der Leistung N_{disp} diese hydraulischen Verlustmengen pro Sekunde ab, so bleibt die vom Wasser an das Laufrad abgegebene Leistung N_h übrig; und zieht man von N_h noch die sekundlichen Energieverluste durch mechanische Reibung ab, so bleibt die effektive Leistung der Turbine ab Welle N_{welle} übrig. Das Verhältnis $\frac{N_h}{N_{disp}}$ nennt man den hydraulischen Wirkungsgrad η_h:

[1]) Einschließlich Verlust durch Krümmung und Wirbelbildung zu verstehen.

$$\eta_h = \frac{N_h}{N_{disp}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

Das Verhältnis $\frac{N_{welle}}{N_h}$ heißt der mechanische Wirkungsgrad η_{mech}:

$$\eta_{mech} = \frac{N_{welle}}{N_h} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

Man hat demnach die Leistungsgleichung:

$$N_{welle} = \eta_{mech} \cdot N_h = \eta_{mech} \cdot \eta_h \cdot N_{disp}$$

und durch Vergleichung mit Gl. (7), § 3, folgt:

$$\eta_{total} = \eta_h \cdot \eta_{mech} \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

Nach dieser Gleichung kann der Totalwirkungsgrad einer Turbine als Produkt des zu erwartenden hydraulischen und mechanischen Wirkungsgrades vorausbestimmt werden. Die Energieverluste sind für die verschiedenen Turbinenarten verschieden und müssen daher für jede Turbinenart besonders untersucht werden. Nähere Angaben hierüber werden in dem folgenden Abschnitt, der die drei nach Seite 39 in der modernen Turbinenindustrie ausschließlich verwendeten Turbinenarten eingehender behandeln wird, gemacht werden.

II. Abschnitt.

Die Freistrahlturbinen.

3. Kapitel.

Die Peltonturbine.

§ 10. Der Arbeitsprozeß der Peltonturbine.

Die in § 8 untersuchte reine axiale Freistrahlturbine wird heute wegen verschiedener ihr anhaftender Mängel nicht mehr angewendet. Ihr Prinzip lebt jedoch — wenn auch nicht ganz rein — in der Peltonturbine, die als eine die Fehler der axialen Freistrahlturbine nach Möglichkeit vermeidende Abart der teilweise beaufschlagten Axialturbine aufgefaßt werden kann, fort. Die hauptsächlichsten hier in Betracht kommenden Fehler der Axialturbinen, deren Beseitigung in der Peltonturbine angestrebt werden mußte, sind die beiden folgenden:

1) Die Absolutgeschwindigkeit C_x des Wassers im Laufkanal hat fast durchweg eine in die Richtung u fallende Komponente $C_x \cos \alpha_x$ (Fig. 44). Diese Komponente verläuft in der Abwicklung des Zylinderschnittes (Fig. 36, S. 46) wohl geradlinig. In der Turbine selbst dagegen muß sie sich der zylindrischen Mantelfläche entsprechend krümmen (Fig. 45) und hat also ganz den Charakter einer Rotationsgeschwindigkeit. Sie ruft daher auch eine Zentrifugalkraft hervor, welche das Wasser radial nach außen drängt. In der das Prinzip der Axialturbine unter Anwendung eines festen Körpers P erläuternden Vorrichtung (Fig. 24, S. 34)

ist, um dieses radiale Ausweichen des arbeitenden Körpers unmöglich zu machen, die Laufbahn als eine den Körper umschließende Rinne dargestellt, welche ihn zwangsweise in konstantem Abstand von der Dreh-

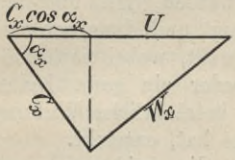

Fig. 44.

Fig. 45.

achse hält. Handelt es sich jedoch um einen breiten, frei dahinströmenden Wasserstrahl, so versagt dieses Hilfsmittel und es zeigt sich daher in der normal konstruierten axialen Freistrahlturbine die Erscheinung, daß das Wasser im Laufkanal nach außen gedrängt

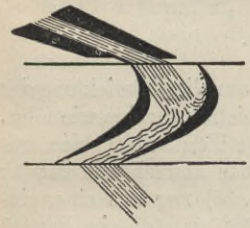

Fig. 46.

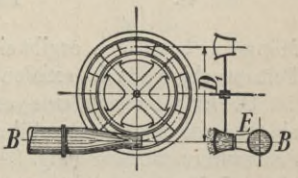

Fig. 47.

wird und also vom diagrammgemäßen Durchfluß abweicht, woraus zusätzliche Energieverluste und damit Wirkungsgradverschlechterungen durch falsche Wasserbewegung und Steigerung des Austrittsverlustes entstehen.

2) Der andere Übelstand der axialen Freistrahlturbine, der sich namentlich bei der hier in Betracht

kommenden teilweisen Beaufschlagung bemerkbar macht, liegt darin, daß der Wasserstrahl, sobald er in die Lücke zwischen zwei Laufschaufeln eintritt (Fig. 46), anstatt von der Laufschaufel unter Arbeitsentziehung abgelenkt zu werden, frei und ungestört bis tief ins Laufrad eindringt und dann senkrecht auf die Laufschaufelmitte aufprallt, wobei natürlich durch den Wasserstoß auch wieder ein ganz bedeutender Energieverlust, der eine beträchtliche Wirkungsgradverschlechterung zur Folge hat, entsteht.

Aus dem Bestreben, die beiden vorerwähnten

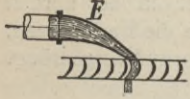

Fig. 48.

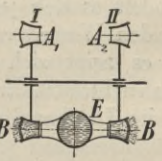

Fig. 49.

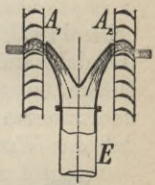

Fig. 50.

Mängel zu beseitigen, ergibt sich nun die Entwicklung der Peltonturbine aus der axialen Freistrahlturbine wie folgt.

Denkt man sich eine axiale Freistrahlturbine mit einem Leitapparat ausgeführt, der ähnlich wie der der Schwamkrugturbine (Fig. 30, S. 36) nur aus einer einzigen Leitzelle besteht, so erhält man die in Fig. 47 dargestellte Turbine und wickelt man wie früher den Kreiszylinder mit Durchmesser D_1 in die zur Zeichenebene senkrecht stehende Ebene B—B ab, so erhält man den in Fig. 48 gezeichneten Schaufelschnitt. Baut man nun mit dieser Turbine eine zweite, gleich aber als Spiegelbild konstruierte zusammen, so ergibt sich die in Fig. 49 skizzierte Zwillingsturbine, deren

Schaufelschnitt in Fig. 50 dargestellt ist. Rückt man in dieser Turbine die beiden Laufräder I und II so zusammen, daß die Eintrittskanten A_1 und A_2 der Laufschaufeln aufeinanderfallen, so hat man in dem entstehenden Doppellaufrad (Fig. 51) die Grundform des Peltonrades. Mit dem Einlauf E, der sich in Fig. 49 und 50 zwischen den beiden Laufradhälften befand, muß man nun schon vor dem Doppellaufrad aufhören. Aus dem gegabelten Doppeleinlauf wird jetzt eine einfache Düse, und damit diese Düse ihr Wasser auf die Laufschaufeln einleiten kann, muß der in Fig. 51 punktiert gezeichnete äußere Kranz K_a des Doppellaufrades wegfallen. Durch das Aufeinanderlegen der Eintrittsschaufelkanten A_1 und A_2 (Fig. 49) entsteht in der Mitte jeder Doppelschaufel eine scharfe Schneide S (Fig. 52). Diese Schneide übernimmt an Stelle des gegabelten Doppeleinlaufes die Verteilung des ankommenden Wassers auf die beiden Radhälften, und wenn der Schneidenwinkel so klein und die Schneide so scharf gemacht wird, daß ein fühlbarer Wasserstoß an ihr nicht auftreten kann, so behebt sie gleichzeitig den zweiten der beiden angeführten Mängel der Freistrahl-Axialturbine: das in Fig. 46 skizzierte senkrechte Aufprallen des Wassers auf die Schaufelfläche ist jetzt nicht mehr möglich, da der

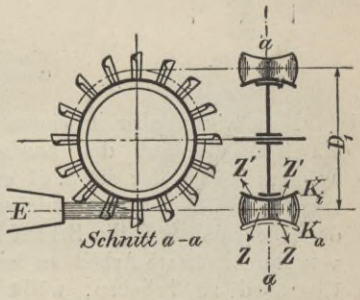

Fig. 51.

Wasserstrahl immer zuerst auf die Schneide auftreffen muß, dort nahezu stoßlos aufgenommen, nach Fig. 52 abgelenkt und dadurch nach dem Prinzip der Axialturbine zum Arbeiten gezwungen wird.

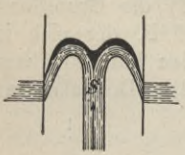

Fig. 52.

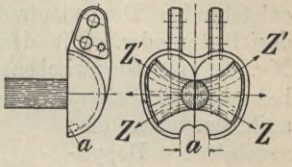

Fig. 53. Schaufel der Peltonturbine (nach Amme, Giesecke & Konegen, Braunschweig).

Nun würde aber in einem Laufrad nach Fig. 51 ein Teil des auf die Laufschaufeln auftreffenden Wassers infolge der auf S. 61 erwähnten, den axialen Durchfluß störenden Zentrifugalkräfte schleunigst in den Richtungen Z die Schaufel verlassen, ohne die von ihm erwartete Arbeit zu leisten. Um auch diesen Übelstand zu beheben, wölbt man die Schaufeln in den Richtungen Z derart dem radial ausfließenden

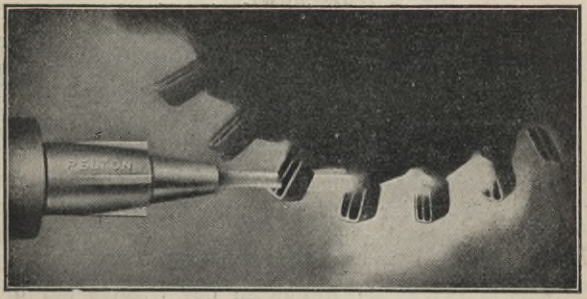

Fig. 54. Momentaufnahme eines rotierenden Peltonlaufrades. (Pelton Water Wheel Co., New York.)

Wasser entgegen (Fig. 53), daß auch dieses Wasser zur Arbeitsabgabe entsprechend dem Prinzip der inneren Konusturbine (Fig. 26) gezwungen wird. Infolge der eigenartigen Verhältnisse, welche durch das Einwerfen des Wassers von außen auf die an der Düse vorbeiziehenden Laufschaufeln (Fig. 54) eintreten, kommt es nun vor, daß das Wasser zeitweise auch in den Richtungen Z' (Fig. 51) wie in der äußeren

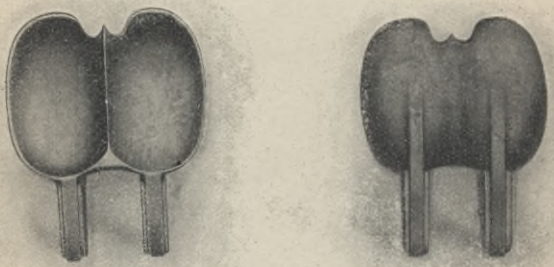

Fig. 55. Peltonschaufel (Vorder- und Rückseite).

Konusturbine (Fig. 27) austreten möchte. Um dies möglich zu machen und gleichzeitig nutzbringend zu verwerten, wölbt man auch in den Richtungen Z' die Schaufel dem schräg nach innen austretenden Wasser entgegen (Fig. 53) und reduziert zwecks Freigabe des Austrittsquerschnittes auch den inneren Schaufelkranz K_i (Fig. 51) so weit als angängig. Man erhält damit die in Fig. 53 dargestellte Peltonschaufel; dieselbe hat die Form eines doppelten Löffels mit einer

scharfen Schneide in der Mitte. Fig. 55 zeigt die Photographie einer solchen Schaufel (Amme, Giesecke & Konegen). Die Schaufeln sitzen, wie Fig. 56 erkennen läßt, einzeln am Umfang einer Nabenscheibe.

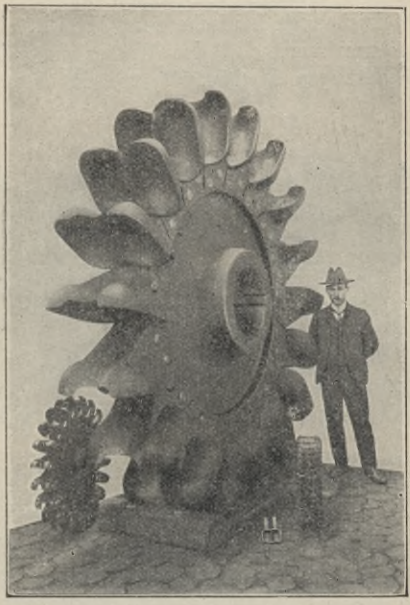

Fig. 56. Peltonlaufrad (Ing. A. Riva & C., Mailand; Anlage Grossotto; 12000 PS bei 318 Meter Gefälle).

Das Schnelligkeitsdiagramm des rein axial durchfließenden Wasserfadens ergibt sich für die in Fig. 57 dargestellte Schaufel A, wenn man zunächst vom Vorhandensein der übrigen Schaufeln absieht, wie folgt.

Der Wasserstrahl strömt mit der Freistrahlschnelle c_1 auf den Schaufelgrat S ein. Der Schaufelgrat bewegt sich mit der Umfangschnelle u nach rückwärts und nimmt demnach das Wasser mit der relativen Eintrittschnelle $w_1 = c_1 - u$ auf. Am Schaufelgrat S findet ein geringer Wasserstoß statt, ähnlich wie an der Eintrittskante der axialen Freistrahlturbine (S. 48), und wenn der halbe Schneidenwinkel mit ψ bezeichnet wird (Fig. 57), so ergibt sich die unmittelbar hinter der Schneide noch vorhandene relative Schnelligkeit w_1' unter Zugrundelegung der ungünstigsten Annahme wie früher zu

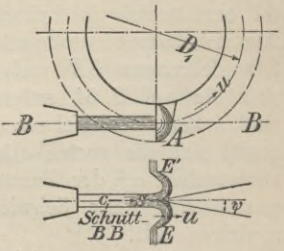

Fig. 57.

$$w_1' = w_1 \cos\psi = (c_1 - u)\cos\psi .$$

Nun läßt sich das Schnelligkeitsdiagramm (Fig. 58) aufzeichnen. Vom Eintrittsdreieck kennt man die Umfangschnelle u, den relativen Eintrittswinkel $\beta'_1 = 180 - \psi$ und die Schnelligkeit w_1'. Damit ist das Eintrittsdreieck festgelegt und man erhält in der schließenden Seite c_1' die Größe und Richtung der absoluten Schnellig-

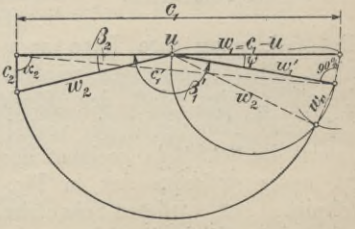
Fig. 58.

keit im ersten Moment hinter der Schaufelschneide. Den Winkel ψ macht man so klein, als praktisch ausführbar, d. h. etwa 10°. Nach Abschätzung des mutmaßlichen Energieverlustes w_v^2 längs der Schaufel ergibt sich in bekannter Weise (vgl. S. 52) das Austrittsdreieck, und man kann nun wie früher die Schaufelkurven SE und SE' (Fig. 57) so festlegen, daß die auf S. 54 aufgestellten Forderungen erfüllt sind. Beim Aufzeichnen des Schnelligkeitsdiagramms ergibt sich die vorteilhafte Erscheinung, daß der Austrittsverlust c_2^2 der Peltonturbine im axialen Arbeitsprozeß sich ohne Schwierigkeiten bis auf $1\,^0/_0$ erniedrigen läßt.

Für die vom axialen Durchfluß abweichenden Wasserfäden gilt das Diagramm Fig. 58 natürlich nicht und es müssen für diese Wasserteilchen besondere Diagramme aufgezeichnet werden; doch kann hierauf und auf die Störungserscheinungen, welche dadurch entstehen, daß der Wasserstrahl gleichzeitig mehrere Schaufeln trifft und daß diese Schaufeln während der Beaufschlagung ihre Lage zum Strahl ändern, hier nicht näher eingegangen werden. Es hat sich in der Praxis gezeigt, daß der Einfluß dieser Störungen auf den Wirkungsgrad ein verhältnismäßig geringer ist, sofern die Schaufeln geeignet ausgebildet werden, wozu unter anderem der in Fig. 53 erkennbare Ausschnitt a am vorderen Schaufelrand und die in Fig. 59 erkennbare Rückwärtsneigung des in Fig. 57 zunächst

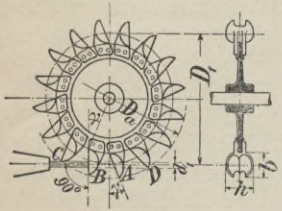

Fig. 59. Peltonturbine.

radial gezeichneten Schaufelgrates um einen bestimmten Winkel γ im Sinne der Drehbewegung gehören. Die Rückwärtsneigung des Grates hat den Zweck, die Arbeitsverhältnisse des Strahles in der mittleren Stellung B der Arbeitsperiode möglichst günstig zu gestalten, und der Schaufelausschnitt hat den Zweck, den Strahl in der ersten Periode des Eintauchens der Schaufel in den vom Wasser bestrichenen Raum zuerst noch eine kurze Zeit lang frei hindurchtreten zu lassen, wodurch verhindert wird, daß der Strahl die Schaufel in einer Stellung C beaufschlagt, in welcher der Schaufelgrat noch in einer gar zu ungünstigen schrägen Richtung zum Strahl steht[1]).

Für den hydraulischen Wirkungsgrad η_h (vgl. S. 58) der Peltonturbine hat man den Ausdruck:

$$\eta_h = c^2 - c_v^2 - w_v^2 - c_2^2 = 1 - c_v^2 - w_v^2 - c_2^2,$$

wobei im Energiegrad c_v^2 alle Energieverluste des Wassers im Leitapparat und im Wert w_v^2 alle Energieverluste am Schaufelgrat und auf den Laufschaufeln eingeschlossen sind und wobei ferner für c_2^2 ein Mittelwert aus den verschiedenen Einzelwerten längs der Austrittskante einzusetzen ist. Zur Abkürzung schreibt man auch:

$$c^2 - c_v^2 - w_v^2 = c_e^2.$$

Die Größe c_e^2 gibt demnach den Energiegrad derjenigen Energiemenge an, welche nach Abzug der unvermeidlichen hydraulischen Reibungsverluste in der Turbine noch zur Wirkung käme, wenn die Turbine

[1]) In Fig. 54 ist allerdings dieser Ausschnitt nicht vorhanden; er wird jedoch in neueren Turbinenkonstruktionen immer angewendet.

ohne Austrittsverlust und ohne mechanische Reibungsverluste arbeiten könnte. Man nennt diese Größe den effektiven Energiegrad und bezeichnet den Gefällsbruchteil $c_e^2 H$ als das effektive Gefälle der Turbine.

§ 11. Dimensionierung und konstruktive Ausführung der Peltonturbine.

1. Das Laufrad.

Den Raddurchmesser D_1, welcher den aus dem Leitapparat entströmenden Wasserstrahl in der Strahlmitte berührt, nennt man den Strahlkreisdurchmesser des Peltonlaufrades. Für diesen Durchmesser D_1 (Meter) ergibt sich bei einer Umfangschnelligkeit u_1 (vgl. S. 47) die Gleichung:

$$D_1 = \frac{60 \cdot \sqrt{2g}}{\pi} \cdot u_1 \frac{\sqrt{H}}{n} = 84{,}6\, u_1 \frac{\sqrt{H}}{n} \qquad (30)$$

Hierbei ist H in Metern einzusetzen; bei der Bestimmung von H aus H_{brutto} ist im allgemeinen das Freihängen zu berücksichtigen; n ist wie früher die minutliche Umdrehungszahl der Turbinenwelle; die Umfangschnelle u_1 schwankt zwischen 0,43 und 0,49.

Für den Strahlquerschnitt f_{strahl} (m²) hat man mit Q in m³/sek:

$$f_{strahl} = \frac{Q}{c_1 \sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \qquad (31)$$

Die Freistrahlschnelle c_1 hängt von der Düsenanordnung ab und wird im Mittel mit 0,95 in Rechnung gesetzt. Der Strahl hat entweder runden oder quadratischen oder rechteckigen Querschnitt. Der Durchmesser d_1 des runden Strahles ergibt sich in Metern aus:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi\sqrt{2g}}} \cdot \sqrt{\frac{Q}{c_1\sqrt{H}}} \quad . \quad . \quad (32)$$

Für die äußeren Schaufelabmessungen b und h (Fig. 59) kann man näherungsweise setzen:

$$\left.\begin{aligned} h &\simeq 3{,}5\, d_1 \\ b &\simeq 2{,}7\, d_1 \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

Die Schaufelzahl bestimmt sich aus der Forderung, daß die Schaufelteilung am Kreis D_a (Fig. 59) auf dem Bogen gemessen ungefähr $^1/_3$ bis $^1/_4$ vom Bogen CD oder an großen Laufrädern noch weniger betragen soll. Doch ist zu beachten, daß sowohl die so bestimmte Schaufelzahl als auch die nach Gl. (33) bestimmten Schaufelabmessungen in jedem einzelnen Fall zeichnerisch nachgeprüft und eventuell korrigiert werden müssen.

Die Schaufeln werden an kleineren Rädern mit dem Radkörper zusammengegossen; für größere Räder werden sie jedoch meistens einzeln hergestellt und auf Spezialmaschinen geschärft, geglättet und poliert, damit der Wasserstrahl nur absolut glatte Flächen und einen scharfen, genau in die Symmetrieebene des Rades fallenden Mittelgrat vorfindet. Die Räder müssen statisch und dynamisch ausgewuchtet werden. Die Befestigung der Schaufeln am Radkörper, welche mit Rücksicht auf die Gefahr des Abschleuderns durch Zentrifugalkraft mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden muß, geschieht entweder durch Schrauben, wie in Fig. 53 und 59 angedeutet, oder dadurch, daß der Radkörper durch zwei Scheiben gebildet wird, welche die Schaufeln zwischen sich einklemmen.

Das Material des Laufradkörpers ist, solange es

sich um Umfangsgeschwindigkeiten unter 35 m/sek handelt, Gußeisen; für höhere Umfangsgeschwindigkeiten kommt Stahlguß zur Verwendung und für die in Anlagen mit sehr hohem Gefälle (bis 1000 m) auftretenden Radgeschwindigkeiten genügen nur noch Nabenscheiben aus bestem geschmiedetem Stahl.

Die Laufschaufeln werden gewöhnlich aus Gußeisen hergestellt; für sand- und säurehaltiges Betriebswasser empfiehlt sich die Verwendung von Phosphorbronze; für hohes Gefälle und große Leistungen wird Stahlguß verwendet.

2. Der Leitapparat.

Der Leitapparat der Peltonturbinen ist, wie sich aus dem vorhergehenden ergibt, zunächst eine einfache Düse. Da man aber im Turbinenbetrieb genau wie im Betrieb mit allen übrigen Kraftmaschinen in die Lage kommen kann, zeitweise mit verminderter Leistung arbeiten zu müssen, so wird im allgemeinen diese Düse mit einer Vorrichtung versehen, durch welche die sekundliche Menge des das Laufrad beaufschlagenden Wassers beliebig stark vermindert und dadurch die Leistung ab Turbinenwelle reguliert und dem augenblicklichen Bedarf angepaßt werden kann. Für die an der Düse anzubringenden Reguliervorrichtungen bestehen der Hauptsache nach sechs verschiedene Konstruktionen, von welchen drei auf dem Grundsatz der Veränderung des Mündungsquerschnittes der Düse beruhen. Es sind dies:

1. die Düse mit Regulierzunge (Fig. 60);
2. die Düse mit Flachschieberregulierung (Fig. 61);
3. die Düse mit Nadelregulierung (Fig. 62).

Die Arbeitsweise dieser Regulierorgane ist aus den Figuren ohne weiteres zu erkennen. Durch das Hin- und Herbewegen der Regulierstange r wird in allen drei Fällen die Düsenmündung verkleinert oder vergrößert, so daß dieselbe einen mehr oder minder starken Strahl austreten läßt und also eine größere oder kleinere sekundliche Energiemenge ins Laufrad einleitet. In der Zungenregulierung (Fig. 60) wird die

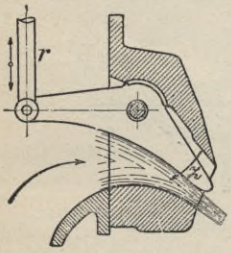

Fig. 60.
Düse mit Regulierzunge.

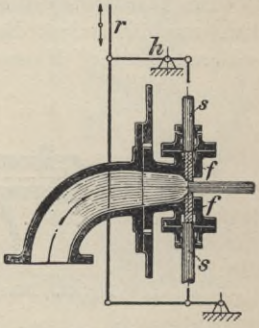

Fig. 61.
Düse mit Flachschieberregulierung (Briegleb, Hansen & Co.).

Stärke des Strahls durch Verstellung der Regulierzunge z eingestellt; in der Flachschieberregulierung (Fig. 61) besorgen dies die beiden Flachschieber f, welche durch die beiden Schieberstangen s mittels der Hebel h symmetrisch zur Strahlmitte bewegt werden. In beiden Fällen sind die Strahlquerschnitte notwendigerweise rechteckig, bei voller Öffnung meist ungefähr quadratisch. Im Gegensatz hierzu arbeitet die Nadelregulierung (Fig. 62) mit rundem Strahl, dessen Stärke durch Verstellung der Nadel n beliebig

geändert werden kann. Anstatt die Nadel in der feststehenden Düse zu bewegen, kann man auch die Düse gegenüber der feststehenden Nadel verschieben[1]) und erhält durch die hierbei mögliche bessere Lagerung der Nadel eine erhöhte Sicherheit dafür, daß die Nadel nicht in Vibrationen geraten kann, was den Wirkungsgrad des Strahls bedeutend verschlechtern würde.

Die Flachschieberdüse und die Zungendüse eignen sich nur für reines Betriebswasser. Für sand- und schlammhaltiges Wasser dagegen kommt nur die

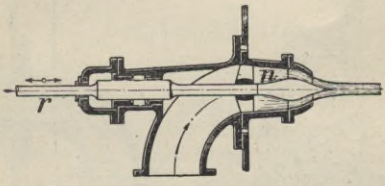

Fig. 62. Düse mit Nadelregulierung.

Nadeldüse in Betracht, die gegenüber den beiden andern den Vorzug rascher Auswechselbarkeit der inneren Teile besitzt und in neuerer Zeit dieselben mehr und mehr verdrängt.

Die Regulierungen mit Änderung des Düsenquerschnitts nennt man auch wassersparende Regulierungen, weil der Düse immer nur so viel Wasser entströmt, als tatsächlich zur Arbeitserzeugung verwendet wird. Im Gegensatz hierzu stehen die drei folgenden Düsenkonstruktionen:

---

[1]) Patent der Firma Amme, Giesecke & Konegen, Braunschweig.

1. Düse mit Strahlabweisung (Fig. 63);
2. Düse mit Strahlabspaltung (Fig. 64 und 65);
3. Düse mit Strahlabschwenkung (Fig. 66).

Wie die Figuren erkennen lassen, wird hier mit Wasserverschwendung reguliert. Die Düse ent-

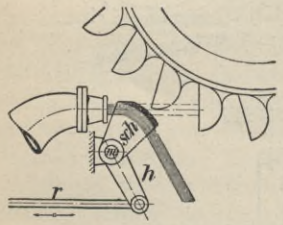

Fig. 63.
Düse mit Strahlabweiser.

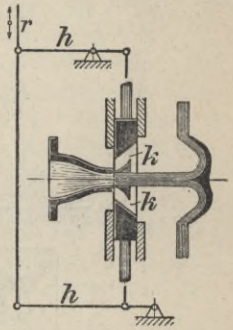

Fig. 64.
Düse mit Strahlabspalter
(Briegleb, Hansen & Co.).

sendet immer denselben Wasserstrahl, gleichgültig, ob die Turbine leerläuft oder voll belastet ist. Wenn von der Turbine verminderte Leistung verlangt wird, wird durch Betätigung der Regulierstange *r* (Fig. 63, 64, 66) ein Teil des aus der Düse kommenden Wassers von der Beaufschlagung ausgeschlossen. In der Vorrichtung Fig. 63 wird das überflüssige Wasser durch die um *m* drehbare Regulierschwinge *sch* nach der Seite abgeleitet. In Fig. 64 und 65 wird ein Teil des

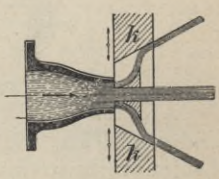

Fig. 65.

Strahls durch die beiden symmetrisch zur Strahlmitte verschiebbaren Spaltkeile k abgespalten und seitlich abgeführt. In der Schwenkdüse (Fig. 66) endlich wird die ganze Düse durch Drehung (Schwenkung) in eine solche Stellung gebracht, daß der Strahl teilweise

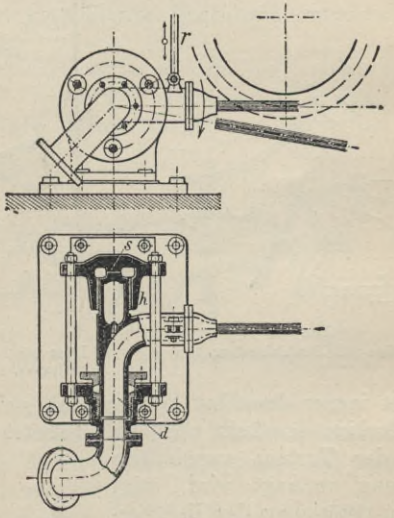

Fig. 66. Schwenkdüse.

und schließlich, wie in der Figur angedeutet, ganz am Laufrad vorbeiströmt. Die Drehvorrichtung der Schwenkdüse (Walzengelenk) besteht, wie Fig. 66 zeigt, aus einer Drehstopfbüchse d, einem Halslager h und einem Spurlager s. Die Schwenkdüse ist der Schwierigkeiten in der Herstellung des Gelenks halber ziemlich teuer;

dafür bietet sie aber den Vorteil, daß im Wasserstrahl selbst keinerlei Reguliermechanismen enthalten sind.

Da Wasserverschwendung nur ausnahmsweise zulässig ist, so spielen die drei wasserverschwendenden Reguliermethoden keine so große Rolle wie die wassersparenden. Eine Wichtigkeit erlangen sie jedoch dadurch, daß sie sich mit den wassersparenden Regulierungen in vorteilhafter Weise kombinieren lassen. Die wichtigsten der verschiedenen hierbei möglichen Kombinationen sind die Nadelschwenkdüse (Kombination von Nadeldüse und Schwenkdüse), die Flachschieber-Spaltkeilregulierung (Kombination von Flachschieberregulierung und Spaltkeilregulierung) und endlich die Kombinationen von Strahlabweisern mit Nadel- und Flachschieberdüsen. Auf die Bedeutung dieser Konstruktionen wird anläßlich der Betrachtung der Turbinenregulierung eingegangen werden.

Die zur Regulierung erforderlichen Bewegungen der Regulierstange r (Fig. 60 bis 66) werden entweder von Hand vorgenommen oder, wie später gezeigt wird, durch selbsttätige Vorrichtungen, die sogenannten Geschwindigkeitsregulatoren, bewirkt.

Die Abmessungen der Düsenmündungen richten sich in allen Düsenarten nach den vorher zu bestimmenden Abmessungen des Wasserstrahls (S. 70), wobei die im allgemeinen an jeder Düse mehr oder weniger stark auftretende Kontraktion berücksichtigt werden muß. Diese Kontraktion hat bekanntlich zur Folge, daß eine Düse mit dem geometrischen Mündungsquerschnitt $f_{düse}$ nur einen Strahl mit etwas kleinerem Querschnitt f_{strahl} entstehen läßt:

$$f_{strahl} = k_1 \cdot f_{düse} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

k_1 ist der Kontraktionskoeffizient, er schwankt je nach der Formgebung an gut ausgeführten Düsen zwischen 0,96 und 0,99. Um also einen Strahl von bestimmtem Querschnitte zu erhalten, muß man der Düse eine Mündung von etwas größerem Querschnitt geben nach der Gleichung:

$$f_{düse} = \frac{1}{k_1} \cdot f_{strahl} \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

Um hierbei ganz sicher zu gehen, rechnet man beim Entwurf mit dem ungünstigsten Wert von k_1 und setzt:

$$f_{düse} = \frac{1}{0{,}96} f_{strahl} = 1{,}04\, f_{strahl} \quad . \quad . \quad (36)$$

womit nach Gl. (31) (S. 70):

$$f_{düse} = \frac{1}{k_1 c_1} \cdot \frac{Q}{\sqrt{2gH}} \backsimeq \frac{1}{0{,}96 \cdot 0{,}95} \cdot \frac{Q}{\sqrt{2gH}}$$

$$\backsimeq 1{,}09 \frac{Q}{\sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (37)$$

Analog wie man die Düse durch konstruktive Maßnahmen mit der Fähigkeit der Verkleinerung der sekundlichen Wassermenge ausstatten kann, kann man sie auch zur Vergrößerung der sekundlichen Wassermenge über das normale Maß Q hinaus einrichten. Man macht hiervon namentlich in Stauseeanlagen (vgl. S. 16) Gebrauch, weil hier die Möglichkeit einer zeitweisen Steigerung des Wasserzuflusses zu den Turbinen vorhanden ist. Die Turbinen sind dann „überlastbar", was in elektrischen Zentralen, deren Generatoren ja ebenfalls fast immer überlastbar sind, sehr erwünscht ist. Da die Schaufeln für die normale

Wassermenge Q gebaut werden, so passen sie nicht ohne weiteres auch für den Betrieb mit kleinerer oder größerer Wassermenge. Sie passen sich nun wohl diesem Betrieb an; dabei sinkt aber, je mehr man vom normalen Betrieb abweicht, der Wirkungsgrad. Den Wirkungsgradverlauf bei den verschiedenen Betriebsverhältnissen stellt man graphisch durch die Wirkungs-

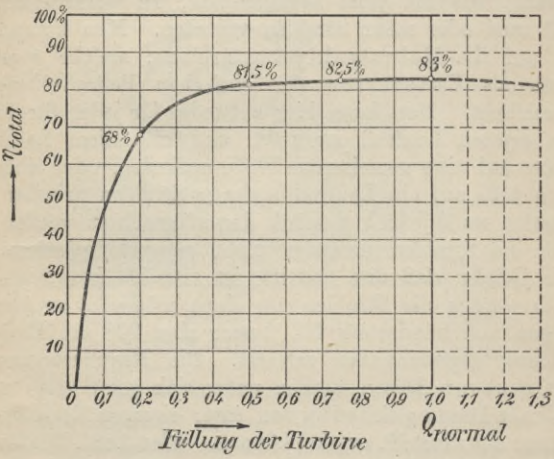

Fig. 67. Wirkungsgradkurve.

gradkurve (Fig. 67) dar. Man kann aus dieser Kurve für jede beliebige Betriebswassermenge (Füllung) der Turbine ihren Wirkungsgrad ablesen. Die in Fig. 67 verzeichnete Kurve entspricht ungefähr den besten in der Peltonturbine mit guten wassersparenden Regulierdüsen erzielbaren Resultaten, die aber nur unter gewissen Voraussetzungen erreicht werden. Es gibt daher

immer Fälle, in denen die Wirkungsgradkurve unterhalb der gezeichneten und eventuell auch mit anderer Linienführung verläuft.

Je nach dem gegenseitigen Verhältnis von Wassermenge Q, Gefälle H und Umdrehungszahl n muß man entsprechend einem später näher zu erörternden Gesetz die Wassermenge Q, anstatt sie in einem einzigen Strahl, wie bis jetzt angenommen, zu verarbeiten, auf zwei oder mehr Strahlen verteilen. Man kommt so auf die Mehrstrahlpeltonturbinen, welche man auch als Unterarten der einfachen Peltonturbine bezeichnet. Man kann hier entweder für jeden Strahl ein eigenes Laufrad anordnen und alle diese Laufräder auf eine gemeinsame Welle aufkeilen, oder aber man läßt auf ein Laufrad mehrere Strahlen arbeiten. Hierbei muß jedoch peinlich darauf geachtet werden, daß die Strahlen einander nicht gegenseitig stören. Die Gefahr, daß dies eintritt, ist ziemlich groß, deshalb werden die Strahlen um einen möglichst großen Bogen von mindestens 50, besser aber 90° am Radumfang gegeneinander versetzt. Die Regulierorgane der einzelnen Düsen werden unter sich gekuppelt, so daß alle Düsen gleichzeitig von einer einzigen Regulierstange aus verstellt werden können. Manchmal werden auch einzelne Düsen mit besonderen Absperrorganen versehen, so daß man zeitweise mit verminderter Düsenzahl arbeiten kann. Rechnet man mit einem Trennungsbogen zwischen den einzelnen Düsen von 90°, so könnte man im äußersten Fall ein Laufrad mit vier Strahlen beaufschlagen. Da aber an Peltonturbinen mit horizontaler Welle die Unterbringung des Kupplungsgestänges für drei oder vier Düsen auf ungute Verhältnisse führt, so ordnet man hier an einem

Laufrad meist nie mehr als zwei Strahlen an. Fig. 68 zeigt ein solches horizontal gelagertes Laufrad mit zwei Strahlen. Durch Verdoppelung dieser Konstruktion kommt man auf die Vierstrahlpeltonturbine (zwei Laufräder mit je zwei Strahlen, Fig. 69)[1]. Pelton-

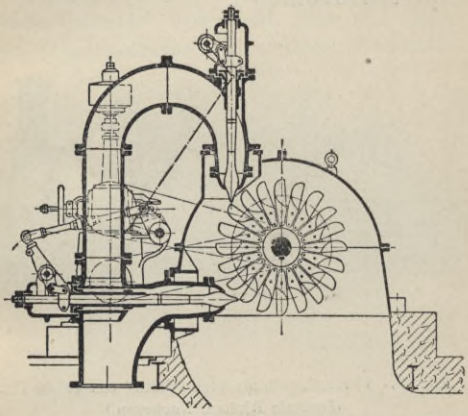

Fig. 68. Zweistrahlpeltonturbine (Voith).

turbinen mit mehr als vier Strahlen baut man heutzutage kaum mehr.

Die gebräuchlichsten Unterarten der horizontal gelagerten Peltonturbinen sind demnach:

1) Zweistrahlpeltonturbinen mit einem Laufrad und zwei Düsen: Doppelpeltonturbinen;

[1]) Von den zwei Laufrädern ist in der Figur nur das vordere und von den vier Düsen nur die zwei über Flur liegenden sichtbar.

2) Zweistrahlpeltonturbinen mit zwei Laufrädern und zwei Düsen (jedes Laufrad hat eine Düse): Zwillingspeltonturbinen;

3) Vierstrahlpeltonturbinen mit zwei Laufrädern und zwei Düsen pro Laufrad: Doppelzwillingspeltonturbinen[1]).

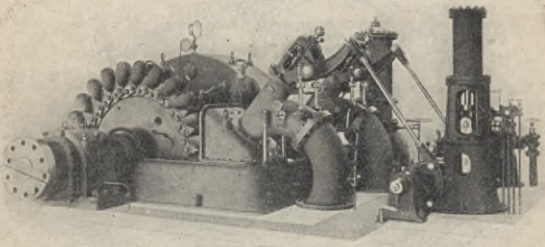

Fig. 69. Vierstrahlpeltonturbine (Voith) von 14500 PS. (Zentrale Rjukan, Norwegen.)

An Peltonturbinen mit vertikaler Welle macht die Unterbringung des Reguliergestänges für drei oder vier Strahlen weniger Schwierigkeiten; man kann daher hier nötigenfalls bis zu vier Strahlen auf ein Laufrad arbeiten lassen.

---

[1]) Die Zwillingsturbinen haben im Falle der Schwenkdüsenanordnung den großen Vorteil, daß infolge der Symmetrie der Düsenanordnung die Spurlagerdrucke der Drehvorrichtung (vergl. S. 76) sich gegenseitig aufheben. Man kann also hier die Spurlager vollständig weglassen, wodurch die Schwenkvorrichtung erheblich an Einfachheit und Betriebsicherheit gewinnt.

3. Gehäuse und Lagerung.

Zum Auffangen des von den Laufrädern abspritzenden Wassers müssen die Laufräder, wie Fig. 70 zeigt, in Gehäuse eingeschlossen werden. Diese Gehäuse werden für horizontal gelagerte Laufräder entweder aus Gußeisen hergestellt oder aus Eisenblech genietet; Peltonlaufräder mit vertikalen Wellen (Fig. 71)

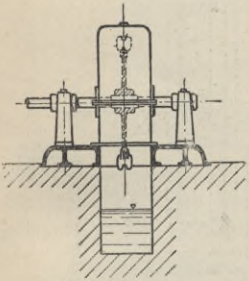

Fig. 70.

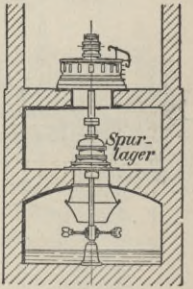

Fig. 71.
Peltonturbine mit vertikaler Welle.

erhalten, wenn die Laufräder unter Maschinenhausflur liegen, gemauerte Kammern. Die gewöhnliche Lage der Welle ist die horizontale. Zur Lagerung vertikaler Wellen sind Spurlager zur Aufnahme des Gewichts der rotierenden Teile erforderlich, und da diese Spurlager, sobald große Gewichte (z. B. Rotorgewichte von Elektrogeneratoren) in Betracht kommen, außerordentlich empfindliche Organe werden, so vermeidet man die vertikalen Wellen gerne. Die horizontale Welle hat keinerlei Axialschub aufzunehmen und braucht daher kein Spurlager; sie muß aber zwecks dauernder

Erhaltung der zentrischen Lage von Schaufelgrat und Strahlmitte an einem Lager durch Bunde gegen zufällige axiale Verschiebungen sorgfältig gesichert sein. Von den zwei Lagern (Fig. 70) kann man in manchen Fällen, z. B. bei direktem Antrieb von Elektrogeneratoren durch Übergang zur Dreilageranordnung unter Verwendung einer starren Flanschkupplung (Fig. 72), eines sparen. Wenn man nochweiter gehen will, so

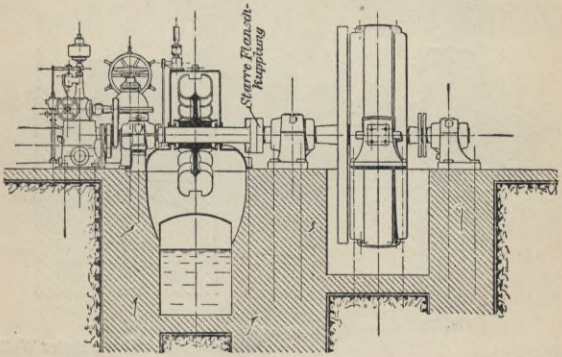

Fig. 72. Peltonturbinenaggregat in Dreilageranordnung (Zentrale Nikko-Ashio in Japan, gebaut von Siemens-Schuckert, Turbinen von Voith).

läßt man beide Turbinenlager weg und setzt das Peltonlaufrad nach Fig. 73 fliegend auf die Generatorwelle, was in der Praxis schon häufig mit bestem Erfolg ausgeführt worden ist. Der Grund, warum sich diese vereinfachten Aggregatanordnungen nicht allgemein einbürgern, liegt in den Schwierigkeiten des Zusammenbaues von Turbinen und Generatoren und des Probelaufs der Generatoren, wenn beide, wie in Europa üblich, in verschiedenen örtlich getrennten

Werkstätten von verschiedenen Firmen hergestellt werden. Der einseitige Angriff der treibenden Kraft bewirkt einseitige Lagerbelastung. Hierauf muß in

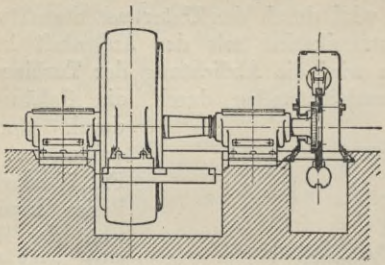

Fig. 73. Peltonturbinenaggregat in Zweilageranordnung, Laufrad fliegend auf der Generatorwelle.

der Dimensionierung und Unterteilung der Lagerschalen Rücksicht genommen werden. An vertikal gelagerten Mehrstrahlturbinen läßt sich diese vom

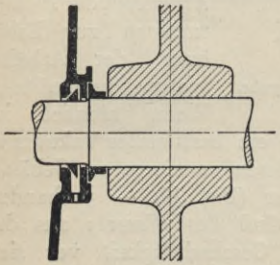

Fig. 74. Spritzringabdichtung.

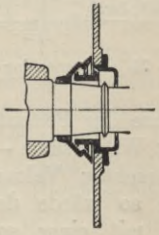

Fig. 75. Spritzringabdichtung.

Wasser herrührende Lagerbelastung durch symmetrische Anordnung der Strahlen vermeiden.

Da das vom Laufrad nach allen Richtungen ab-

spritzende Wasser die Eigenschaft hat, Luft mit sich zu reißen, so muß dafür gesorgt sein, daß dem Gehäuse irgendwie dauernd neue Luft zuströmen kann. Meistens wird durch den Unterwasserkanal von selbst die Kommunikation mit der Außenluft hergestellt; außerdem wird die Abdichtung der Turbinenwelle an ihren Durchtrittstellen durch die Gehäusewandung durch Spritzringanordnung z. B. nach Fig. 74 oder 75 in der Weise bewirkt, daß wohl der Wasseraustritt verhindert, aber der Luftzutritt ermöglicht wird.

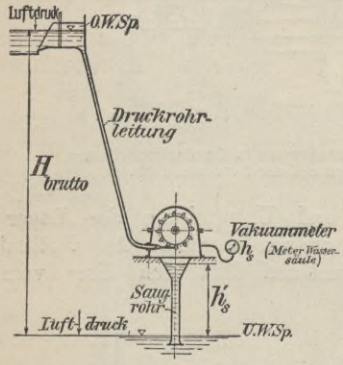

Fig. 76. Peltonturbine mit Saugrohr.

Man hat schon versucht, die luftabsaugende Wirkung des Abwassers der Peltonturbinen zur Erhöhung der Arbeitsleistung auszunützen. Wenn nämlich im Gehäuse der Peltonturbine ein bestimmtes Vakuum h_s Meter Wassersäule — abgelesen an einem am Gehäuse angebrachten Vakuummeter (Fig. 76) — vorhanden wäre, so würde der Ausfluß des Wassers aus der Düse mit einer solchen Geschwindigkeit vor sich gehen, als ob das Nettogefälle $H + h_s$ Meter betragen würde. Das Vakuum h_s wirkt also wie ein zusätzliches Gefälle, und die von ihm veranlaßte Erhöhung der kinetischen Energie des das Laufrad beaufschlagenden Wassers hat auch eine entsprechende Leistungs-

erhöhung zur Folge, was natürlich sehr erwünscht wäre. Zur Erzielung und Aufrechterhaltung des Vakuums müßte man an dem jetzt luftdicht und gegen äußeren Überdruck widerstandsfähig herzustellenden Gehäuse Stopfbüchsen für den Austritt der Turbinenwelle vorsehen und außerdem das Gehäuse durch Anbringen eines mit Wasserverschluß ins Unterwasser tauchenden Abflußrohrs vor dem Eindringen von Luft von unten her schützen. Solche Peltonturbinen sind tatsächlich schon ausgeführt worden. Da das Wasser in dem Abflußrohr infolge des inneren Vakuums durch den äußeren Luftdruck in die Höhe gedrückt wird, so scheint die Turbine den Unterwasserspiegel anzusaugen. Man nennt daher das Abflußrohr Saugrohr und bezeichnet die damit versehenen Peltonturbinen als Peltonturbinen mit Saugwirkung. Es hat sich nun aber gezeigt, daß das Vakuum leicht einen so hohen Wert erreicht, daß der Wasserspiegel im Abflußrohr bis zu den Laufradschaufeln heraufsteigt und hier den Arbeitsprozeß des Wassers stört. Man hat wohl Vorrichtungen zur Regulierung des Saugrohrwasserstandes angebracht, aber trotzdem haben sich die Peltonturbinen mit Saugwirkung nirgends eingebürgert, weil die Stetigkeit des Vakuums meistens viel zu wünschen übrigließ. Höchstens für Peltonturbinen, welche absichtlich oder örtlicher Verhältnisse halber 10 m und mehr über dem Unterwasserspiegel aufgestellt werden, wäre ihre Anwendung zu erwägen, weil hier der äußere Luftdruck den Unterwasserspiegel im Saugrohr niemals bis ins Laufrad hinaufdrücken kann und also auch kein Vakuumregulator erforderlich ist. Zu beachten ist aber, daß die Höhe h_s', bis zu welcher der äußere Luftdruck das Wasser im

Saugrohr in die Höhe drückt (Fig. 76), immer etwas größer wird, als dem im Gehäuse wirksamen Vakuum h_s entspricht, umgekehrt ist das tatsächlich wirksame Vakuum immer etwas kleiner, als es sich aus dem Stand des Wassers im Saugrohr berechnet ergeben würde. Diese Erscheinung rührt daher, daß im Saugrohr nicht eine kompakte Wassermasse vom spezifischen Gewicht 1, sondern eine spezifisch leichtere Mischung aus Wasser, Luft und sonstigen Gasen, welche sich infolge des Unterdrucks aus dem Wasser ausscheiden, vorhanden ist.

§ 12. Druckrohrleitung und Wasserschloßausrüstung.

In Anlagen mit Peltonturbinen handelt es sich fast ausschließlich um höhere Gefälle; man hat infolgedessen hier immer den Fall der Fig. 7 und 9, d. h. Druckrohrleitungen zwischen Wasserschloß und Maschinenhaus vor sich. Die Druckrohrleitungen bestehen, wie die Fig. 77 erkennen läßt, aus einzelnen Rohrschüssen, welche je nach der Größe des inneren Überdrucks aus Flußeisenblech und Flußstahlblech mit genieteten oder besser geschweißten Längsnähten hergestellt und entweder durch Flanschen- oder Muffenverbindung aneinander angeschlossen oder bei großen Lichtweiten durch Rundnietnähte miteinander vernietet werden; auch Eisenbeton und Holz wird manchmal als Rohrmaterial verwendet. Für Siemens-Martin-Flußeisen ergibt sich die mit Rücksicht auf Materialbeanspruchung und Abrosten erforderliche Wandstärke s mm für H m hydrostatischen Druck bei D_{ro} m Rohrlichtweite zu

$$s = \frac{H \cdot D_{ro}}{12 \div 13} + 1\,\text{mm} \quad . \quad . \quad . \quad (38)$$

und für Stahlblech zu

$$s = \frac{H \cdot D_{ro}}{15 \div 16} + 1\,\text{mm} \quad . \quad . \quad . \quad (39)$$

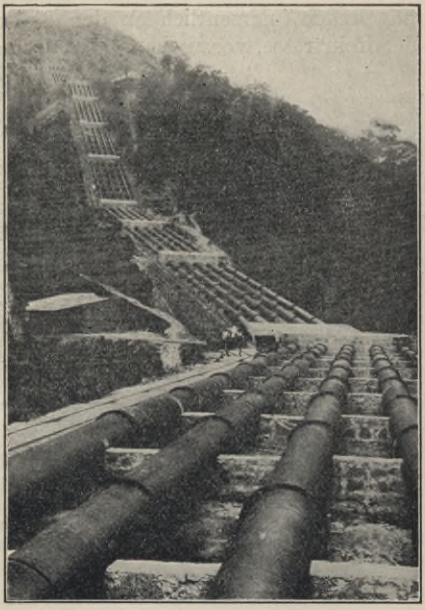

Fig. 77. Druckrohranlage (A.-G. Ferrum, Kattowitz).

Häufig zwingen aber die Rücksichten auf Herstellung und Transport der Rohrschüsse zur Überschreitung der aus obigen Formeln sich ergebenden Werte. Auf die Wahl der Lichtweiten der Druckrohrleitungen wird später näher eingegangen werden.

Unmittelbar vor dem Eintritt ins Maschinenhaus ist die Druckrohrleitung absolut sicher zu verankern, damit sie keinerlei Schub auf die Turbine ausüben kann. An längeren Rohrleitungen sind mehrere solche Verankerungsstellen, namentlich an den Krümmungspunkten der Rohrtrasse, vorzusehen. Innen und außen

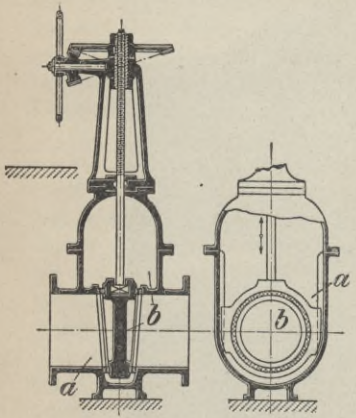

Fig. 78.
Absperrschieber mit Handantrieb.

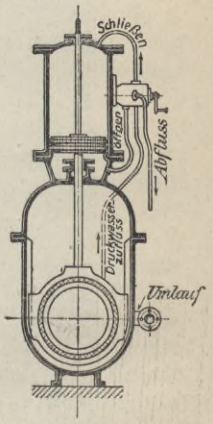

Fig. 79.
Absperrschieber mit Servomotor.

sind die Rohre mit einem dauerhaften rostschützenden Anstrich zu versehen. Mannlöcher oder bei kleinen Lichtweiten Handlöcher dienen zur Untersuchung der Beschaffenheit der Innenwände. Damit sich die Rohre den Temperaturschwankungen entsprechend zwanglos ausdehnen und zusammenziehen können, ist zwischen je zwei Verankerungen eine stopfbüchsenartige Expansionsvorrichtung anzuordnen. Am unteren Ende

der Druckrohrleitung muß vor der Turbine ein Absperrorgan, in Peltonanlagen gewöhnlich ein Wasserschieber (Fig. 78), angebracht werden, damit man die Turbine vom Druckwasser sicher abschließen kann. Die Wasserschieber bestehen aus einem Schiebergehäuse *a*, aus einer kreisrunden oder rechteckigen, mit Führungsleisten versehenen Schieberlinse *b* und aus einem Getriebe zum Auf- und Abwärtsbewegen dieser Linse. In ihrer tiefsten Stellung schließt die Linse die Rohrleitung vollständig dicht ab; in ihrer höchsten Stellung gibt sie den Rohrquerschnitt ganz frei. Zwischenstellungen sind im Betriebe zu vermeiden, da sie starke Drosselung und Beschädigung des Schiebers zur Folge haben. Unter hohem einseitigem Druck sind die Schieberlinsen sehr schwer beweglich. Man ordnet daher Getriebeübersetzungen und ferner Umläufe am Schiebergehäuse an, mittels deren vor Öffnen des Schiebers ein Druckausgleich vor und hinter der Linse hergestellt werden kann. Man kann auch das Öffnen und Schließen vom Wasser selbst besorgen lassen, indem man auf der Schieberstange einen Kolben anbringt und auf dem Schiebergehäuse einen Zylinder mit von Hand gesteuerter Druckwasserzuführung aufbaut, wie dies in Fig. 79 schematisch dargestellt ist. Statt des Druckwassers verwendet man, wenn dasselbe unrein ist oder zu geringen Druck hat, Drucköl, das durch kleine Öldruckpumpen auf Druck gebracht wird; die ganze Vorrichtung nennt man Servomotor (= Hilfsmotor)[1]).

Häufig werden an eine Druckrohrleituug mehrere

[1]) In Fig. 93, Seite 111, ist im Vordergrund ein Absperrschieber mit Wasserdruckservomotor und Umlauf zu erkennen.

Turbinen angeschlossen. Die Rohrstrecke mit den Abzweigungen zu den Turbinen (Fig. 80) wird dann Verteilungsrohrleitung genannt.

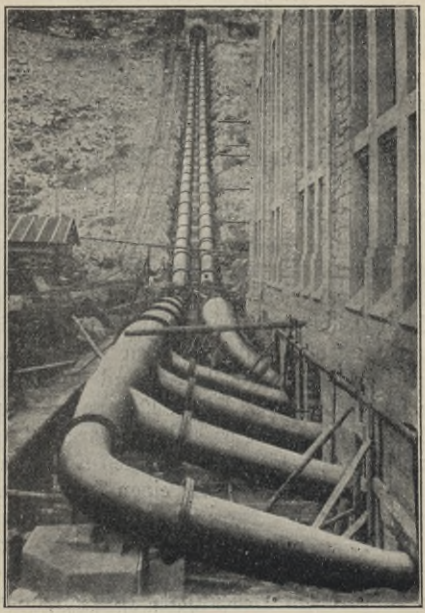

Fig. 80. Verteilungsrohrleitung (Ferrum) der Anlage Biaschina (Schweiz).

Zwischen Verteilungsrohrleitung und eigentlicher Druckrohrleitung schaltet man zweckmäßig einen Hauptabsperrschieber ein. Sowohl die Druckrohrleitung als die Verteilungsleitung muß mit einem kleinen Entleerungsschieber (bei hohem Gefälle Ent-

leerungsdüse mit Nadelverschluß) versehen sein. In größeren Anlagen wird das gesamte Betriebswasser auf mehrere, auf einem gemeinsamen Rohrbett verlegte Druckrohrstränge verteilt. Wenn hierbei die Rohrzahl mit der Turbinenzahl übereinstimmt, so gibt man am besten jeder Turbine eine eigene, von den übrigen Leitungen unabhängige Rohrleitung. Wenn Rohrzahl und Turbinenzahl nicht übereinstimmen, so kommen Verteilungsrohrleitungen nach Fig. 80, 81 und 82 zur Anwendung. Eine Anordnung nach Fig. 81 wird als Verteilungsringleitung, eine Anordnung nach Fig. 82 als Verteilungsquerleitung bezeichnet.

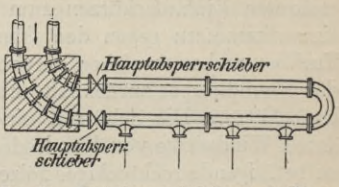

Fig. 81. Verteilungsrohrleitung als Ringleitung ausgebildet.

An ihrem oberen Ende tritt die Druckrohrleitung mit einer trichterförmigen Erweiterung in die Rohreinlaufkammer des Wasserschlosses ein (vgl. Fig. 7). Das Trichterrohr wird stark verankert und unmittelbar hinter dem Trichterrohr wird eine Expansionsvorrichtung angeordnet.

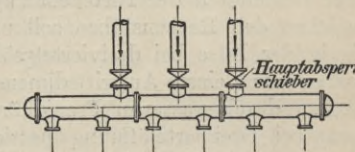

Fig. 82. Verteilungsrohrleitung als Querleitung ausgebildet.

In Stauseeanlagen baut man zum Schutze der Unterlieger vor Überschwemmungen am oberen Rohrende eine selbsttätige Rohrabsperrvorrichtung mit Be-

lüftungsrohr ein, welche die Schließung der Rohrleitung bewirkt, sobald infolge eines Rohrbruchs die Wassergeschwindigkeit in der Rohrleitung das normale Maß überschreitet.

Die Wasserschloßausrüstung besteht aus einer oder mehreren Einlaufschützen zum Abschließen der Rohreinlaufkammern gegen den Oberwasserkanal, aus dem Turbinenrechen, welcher die im Wasser anschwimmenden Fremdkörper zurückhält, und endlich aus der Leerlaufschütze. Die Schützen sind vertikal bewegliche, durch Windwerke von Hand oder durch Elektromotoren zu betätigende rechteckige, hölzerne oder eiserne Tafeln, welche mittels U-Eisengerüsten in die Rohreinlaufkammern eingebaut sind und den Abfluß des Wassers in ähnlicher Weise wie die Linsen der Wasserschieber absperren, nur daß hier ein vollkommen dichter Abschluß nicht erzielt wird. Der aus Flacheisenstäben zusammengesetzte Turbinenrechen ist ein sehr wichtiger Bestandteil der Turbinenanlage. Die lichte Weite zwischen den Rechenstäben soll nicht größer sein als die in der Düse bei dreiviertelgeöffnetem Leitapparat vorhandene kleinste Austrittsdimension, so daß die vom Rechen durchgelassenen Fremdkörper die Düse auch noch bei Dreiviertelöffnung passieren und also eine Verstopfung der Düse nicht herbeiführen können. Wenn der Rechen nicht andauernd gut gereinigt wird, so verursacht er einen erheblichen Gefällsverlust, und wenn er infolge schlechter Instandhaltung größere Lücken aufweist als er soll, so kann die Turbine durch das Eindringen von unzulässig großen Fremdkörpern beschädigt werden. Der Rechen bedarf also im Betriebe einer dauernden Kontrolle seines Zustandes. Er muß so kräftig dimensioniert und unter-

stützt sein, daß ein einseitiger voller Wasserdruck auf die durch Vereisung als vollständig geschlossen angenommene Rechenfläche ohne Gefahr aufgenommen wird.

§ 13. Geschwindigkeitsregulierung.

Die Geschwindigkeitsregulierung wird notwendig, sobald die Arbeitsabnahme der von der Turbine angetriebenen Maschine eine schwankende ist. Wenn eine normal laufende Turbine entlastet wird, so beginnt sie schneller und schneller zu laufen und geht schließlich bei vollständiger Entlastung durch. Wenn andererseits eine Turbine über ihre Kraft hinaus belastet wird, so läuft sie langsamer und langsamer und bleibt schließlich festgebremst stehen. Dieses Durchgehen und Festbremsen muß durch irgendein Mittel unmöglich gemacht werden. Der Grundgedanke der dabei anzuwendenden Maßnahmen folgt aus der Überlegung, daß man eine zu schnell laufende Turbine durch Schließen ihres Leitapparates auf geringere Umdrehungszahl herunterbringen und eine zu langsam laufende durch Öffnen des Leitapparates — sofern derselbe noch nicht ganz geöffnet ist — auf höhere Umdrehungszahl heraufbringen kann. Man schließt also einfach die Turbine, wenn sie zu schnell zu laufen beginnt, und öffnet sie, wenn sie zu langsam zu laufen beginnt, so daß sie nach jeder Belastungsschwankung möglichst die normale Umdrehungszahl wieder erreicht und mit derselben weiterläuft. Dieses Schließen und Öffnen kann man von Hand bewirken und erhält so eine Turbine mit Handregulierung. Die mit der Handregulierung erzielbare Regulierge nauigkeit ist ganz von der Sorgfalt der Bedienungsmannschaft abhängig; sie läßt auch bei gewissenhaf-

tester Bedienung viel zu wünschen übrig, und bei nachlässiger Bedienung können leicht Durchgangskatastrophen oder Festbremsungen herbeigeführt werden. Man versieht daher die Turbinen jetzt fast ausschließlich außer mit der Handregulierung noch mit einem selbsttätigen Geschwindigkeitsregulator, und die Handregulierung dient nur noch zum Anlassen und Abstellen und als Notbehelf während etwaiger

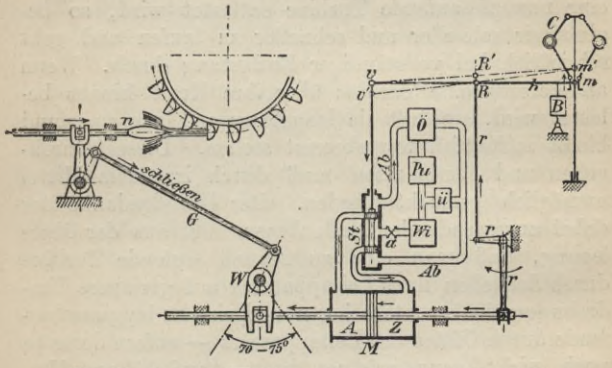

Fig. 83. Geschwindigkeitsregulator schematisch dargestellt.

Reparaturen des selbsttätigen Regulators. Der selbsttätige Geschwindigkeitsregulator (Fig. 83) ist nichts anderes als ein Servomotor (vgl. S. 91), der durch ein Zentrifugalpendel mittels eines Steuerventils (Kolbenschieber) so gesteuert wird, daß er die Öffnung des Leitapparates der Turbine dem jeweiligen Kraftbedarf der Antriebsmaschine unter annähernder oder auch vollkommener Konstanthaltung der Umdrehungszahl anpaßt. Die Arbeit, welche notwendig ist, den Leitapparat im Betriebe aus einer Endstellung in die

andere zu bringen, heißt man die Regulierarbeit der Turbine (gemessen in mkg). Diese Arbeit muß der Servomotor leisten. Sein durch Zylinderdurchmesser, Kolbenhub und Druck der Druckflüssigkeit bestimmtes Arbeitsvermögen muß mit einem angemessenen Sicherheitsüberschuß der Regulierarbeit der Turbine entsprechen.

Die Turbinenregulatoren werden gewöhnlich so gebaut, daß der Servomotor M (Fig. 83) die hin- und hergehende Bewegung seiner Kolbenstange zunächst auf eine Kurbelwelle W (Fig. 83), die sogenannte Regulierwelle, des Regulators überträgt. Diese Regulierwelle beschreibt während eines vollen Servomotorhubs meistens nur einen beschränkten Drehwinkel von etwa 70 bis 75°; sie wird mit dem Leitapparat der Turbine durch ein kräftig dimensioniertes Gestänge G (Reguliergetriebe) so verbunden, daß, während die Regulierwelle ihren vollen Drehwinkel zurücklegt, das Regulierorgan des Leitapparats (in Fig. 83 beispielsweise die Reguliernadel n) ebenfalls von einer Endstellung in die andere gebracht wird. Ein für die Güte der Regulierung wesentliches Moment ist die Zeit, in der dies geschieht. Man nennt diese Zeit die Öffnungs- bzw. Schließzeit. Den modernen Ansprüchen an Reguliergenauigkeit kann man nur noch mit ganz kurzen Schließzeiten von höchstens zwei bis drei Sekunden genügen, und es gibt Fälle, in denen man die Regulatoren mit nur einer Sekunde Schließzeit arbeiten läßt. A's Druckflüssigkeit für den Servomotor hat man früher meist Druckwasser aus der Druckrohrleitung entnommen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß das Druckwasser trotz Filtrierung den empfindlichen Bestandteilen der Servomotorsteuerung gefährlich werden und sie unbrauchbar machen kann. Um diesem

Übelstande ganz aus dem Wege zu gehen, verwendet man jetzt ziemlich allgemein Drucköl als Arbeitsflüssigkeit.

Die Hauptbestandteile der Geschwindigkeitsregulatoren mit Öldruck sind, wie das Schema (Fig. 83) erkennen läßt, außer dem Servomotor *M* und der Regulierwelle *W* mit Reguliergestänge *G*, das von der Turbinenwelle aus angetriebene, den Servomotor regierende Zentrifugalpendel *C* mit Ölbremse *B* zum eventuellen Dämpfen der Bewegungen der Pendelmuffe *m*, ferner das Steuerventil *St*, das Rückführungsgestänge *r*, der Ölbehälter *Ö*, die Ölpumpe *Pu* mit Antrieb, der Windkessel *Wi*, das Überströmventil *ü*, das Absperrventil *a*, die Druckölleitung von Pumpe zum Windkessel und vom Windkessel zum Steuerventil und endlich die Ablaufleitungen *Ab* vom Steuerventil zurück zum Ölbehälter. Die Wirkungsweise ist folgende. Wenn infolge einer Entlastung die Drehzahl der Turbine zu steigen beginnt, so zieht das Pendel *C* die Pendelmuffe *m* nach oben. Der Hebel *h* dreht sich infolgedessen um den zunächst ruhenden Punkt *R* in die Lage *v'm'* und schiebt dadurch den Kolbenschieber des Steuerventils aus der in Fig. 83 gezeichneten neutralen Mittelstellung nach unten, wodurch der Druckflüssigkeit der Eintritt in die Zylinderseite *Z* des Servomotorzylinders freigegeben wird, während gleichzeitig das Öl aus der Zylinderseite *A* freien Abfluß zum Ölbehälter *Ö* durch das Steuerventil hindurch findet. Der Kolben des Servomotors geht nun von rechts nach links, dreht dadurch die Regulierwelle *W*, und diese beginnt mittels des Reguliergestänges *G* die Turbine zu schließen, so daß die Drehzahl derselben nicht weiter steigen kann. Gleichzeitig mit der Schließbewegung hat nun aber

das Rückführungsgestänge r den ursprünglich fixen Drehpunkt R in die Höhe geschoben; dies hat zur Folge, daß der Hebel h sich momentan um den Punkt m' dreht und dadurch den Kolben des Steuerventils aus der Lage v' in die neutrale Mittelstellung v zurückbringt, wodurch der Servomotor sofort zum Stillstand kommt und die Schließbewegung aufhört. Wäre die Rückführung nicht vorhanden, so würde der Regulator die Turbine zu stark schließen und er müßte sie nachträglich wieder öffnen, wobei er wieder überregulieren und nie zur Ruhe kommen würde. Die beiden Bewegungen des Hebels h: erstens Drehung um R und zweitens Drehung um m' gehen in Wirklichkeit nicht nacheinander vor sich, sondern sie mischen sich, d. h. einem unendlich kleinen Impuls der einen Bewegung folgt sofort ein unendlich kleiner Impuls der andern, solange bis der vom Pendel hervorgerufene Bewegungsimpuls aufhört, was ein Zeichen dafür ist, daß jetzt wieder die von der Turbine entwickelte Leistung dem Kraftbedarf der angetriebenen Maschine gleich ist. Die Wirkung der Rückführung besteht demnach darin, daß sie den Regulator nur in ganz kleinen Schritten vorgehen läßt, wobei der Regulator nach jedem Schritt gewissermaßen erst wieder durch das Pendel tastend anfühlen muß, ob ein weiteres Einschreiten seinerseits erforderlich ist oder nicht; der Regulator kontrolliert und beherrscht sich also auf diese Weise selbst, so daß ein Überregulieren nicht eintreten kann.

Während des Reguliervorgangs kommt der Hebel h allmählich unter zeitweiser Senkung des Punktes v aus der Lage mv in die Lage $m'v$. Entsprechend der höheren Lage m' der Pendelmuffe läuft nun die ent-

lastete Turbine nach Beendigung des Reguliervorgangs nicht mehr mit der alten Drehzahl, sondern mit einer etwas höheren Drehzahl weiter. Je stärker die Entlastung ist, um so größer ist der verbleibende Drehzahlunterschied zwischen der vorhergegangenen und der nachfolgenden Umdrehungszahl; er erreicht also seinen Größtwert beim Übergang vom Betrieb mit Vollast auf Leerlauf. Diesen Größtwert, ausgedrückt in Prozenten der normalen Umdrehungszahl, nennt man den Ungleichförmigkeitsgrad der Regulierung;

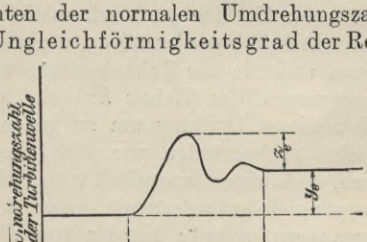

Fig. 84. Tachogramm eines Entlastungsvorgangs mit Ungleichförmigkeit im Regulator.

derselbe soll im allgemeinen $4\,^0/_0$ nicht übersteigen. Der Reguliervorgang wird durch ein sogenanntes Tachogramm (Fig. 84) graphisch dargestellt. Wie aus diesem Diagramm ersichtlich ist, zeigt sich außer der bleibenden Drehzahlerhöhung y_e des Endzustandes gegenüber dem Anfangszustand noch eine stärkere, in einer oder mehreren Schwingungen verlaufende vorübergehende Geschwindigkeitssteigerung. Der maximale Überschuß z_e dieser letzteren gegenüber dem Endzustand hängt wie die Größe y_e von dem Grad

der vorgenommenen Entlastung ab; y_e und z_e zusammen geben ein Maß für die Güte der Regulierung. Im Fall einer plötzlichen Belastung der unbelasteten Turbine kehren sich die vorbeschriebenen Verhältnisse um und es entsteht ein Tachogramm nach Fig. 85 mit einer dauernden und einer vorübergehenden Geschwindigkeitserniedrigung (y_b bzw. z_b).

Bezüglich der konstruktiven Ausführung der Druckölgeschwindigkeitsregulatoren sei bemerkt, daß nur die besten Pendel mit geringer Masse, hoher Empfindlich-

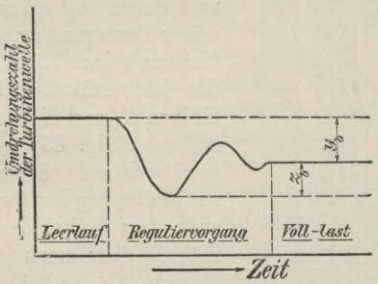

Fig. 85. Tachogramm eines Belastungsvorgangs mit Ungleichförmigkeit im Regulator.

keit, großer Umdrehungszahl (Federpendel mit unbelasteten Gelenken und die Gelenke als Schneiden ausgeführt) verwendet werden dürfen. Damit ferner das Pendel dem Gang der Turbine vollständig ungezwungen folgen kann, wird der Kolbenschieber in Fig. 83, der in der dort skizzierten einfachen Ausführung bei seiner Bewegung starke, vom strömenden Öl verursachte Drücke auf den Regulierhebel h ausüben würde, ersetzt durch einen sogenannten Schwebekolben mit Vorsteuerung (Fig. 86). Dies ist eine

äußerst sinnreiche Vorrichtung, durch welche die Kräfte zum Bewegen des Kolbenschiebers und zum Festhalten desselben in jeder beliebigen Stellung vom Drucköl selbst geliefert werden. Das Pendel hat nur noch das Spiel dieser Kräfte zu leiten, was durch einen Regulierstift v geschieht, der mit dem frei schwebenden Kolben überhaupt nicht materiell verbunden ist und daher fast keine Kraft zu seiner Bewegung erfordert und fast gar keinen Rückdruck vom Öle her erfährt. Die beiden Kolben K_1 und K_2 des Schwebekolbens (Fig. 86) bilden den gewöhnlichen Schieberkolben zur Bedienung des Servomotors; außerdem besitzt der Schwebekolben aber noch die beiden Kolben K_3 uud K_4 mit den Zylinderräumen Z_1 und Z_2. Diese Zylinderräume sind durch schmale Spalte bei a_1 bzw. a_2 und durch die Kanäle U_1 bzw. U_2 zunächst beide in gleicher Weise mit Drucköl gefüllt; die Drücke auf die beiden Kolben K_3 und K_4 heben sich also gegenseitig auf. Sobald der Regulierstift v aber z. B. nach unten geht, öffnet sich dem Drucköl in Z_2 über U_2 und c_2/d_2 ein Ausweg zum Ablaufraum II. Infolgedessen sinkt der Druck auf den Kolben K_4, und der Druck auf den Kolben K_3 schiebt den ganzen

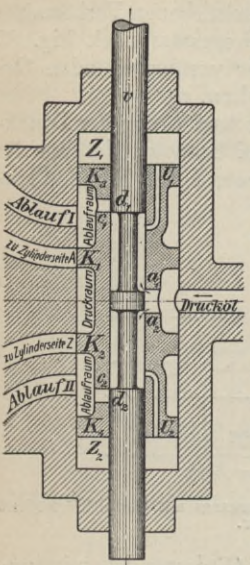

Fig. 86.
Steuerventil mit Schwebekolben (Vorsteuerung).

Kolbenschieber nach abwärts, dem Regulierstift nach, und zwar so lange, bis die Kanten c_2 und d_2 wieder zusammenfallen, wodurch der Druck in Z_2 wieder hergestellt wird. Inzwischen strömt das Drucköl aus dem Druckraum in die Zylinderseite Z, bringt den Servomotor zum Arbeiten; die Rückführung zieht den Regulierstift v wieder in die Höhe. Dadurch sinkt der Druck in Z_1 infolge Eröffnung der Spalte $c_1 d_1$, und der Druck auf K_4 schiebt den Schwebekolben wieder dem Regulierstift nach in die neutrale Mittelstellung. Durch die Vorrichtung von Fig. 86 erreicht man also, daß der Schwebekolben vollständig frei im Öl schwimmt und dem leicht beweglichen Regulierstift v so prompt folgt, als ob er mit ihm starr verbunden wäre. Die den Schwebekolben haltenden und treibenden Kräfte kann man durch Vergrößerung der Kolbenflächen K_3 und K_4 beliebig groß machen, so daß Reibungswiderstände, Rückwirkungen des strömenden Öls an den Kolben K_1 und K_2 und Gewicht des Schwebekolbens mit Leichtigkeit überwunden werden. Das Gestänge des Regulators ist derart durch Gegengewichte auszugleichen, daß die Muffe des Pendels keinerlei Hebearbeit weder positive noch negative, bei ihrer Bewegung zu leisten hat.

Das Öl wird durch eine Kapsel- oder Kolbenpumpe, welche von der Turbinenwelle aus angetrieben wird, auf Druck gebracht. Man kann in Anlagen mit höherem Gefälle die Ölpumpe auch direkt mit einer kleinen Wasserturbine kuppeln, so daß man auch bei Stillstand der Hauptturbine Drucköl erzeugen kann. Mittels einer in der Rückführung angebrachten Vorrichtung läßt sich dann auch das Anlassen und Abstellen der Turbine durch den Regulatorservomotor ohne Benützung der Handregulierung bewerk-

stelligen[1]). Das Drucköl, dessen Druck in den verschiedenen Regulatorkonstruktionen zwischen 10 und 20 Atm. schwankt, wird entweder dauernd in einem Windkessel unter vollem Druck zur Verfügung des Steuerventils gehalten, und das gepumpte Öl strömt, solange es im Servomotor nicht gebraucht wird, durch das Überströmventil *ü* (Fig. 83) in den Ölbehälter *ö*, aus dem die Pumpe schöpft, ab, oder aber die Ölpumpe hält die beiden Seiten des Servomotorzylinders dauernd unter einem geringen, etwa 2 Atm. betragenden Druck; sobald Regulierarbeit zu leisten ist, sinkt der Öldruck infolge Einwirkung des Steuerventils in der einen Zylinderseite auf Null, während er in der anderen Zylinderseite rasch durch die Pumpe auf die zur Bewegung der Regulierung erforderliche Höhe gebracht wird. In dieser Regulatorkonstruktion dient das Steuerventil selbst als Überströmventil und der Windkessel ist entbehrlich; es wird jedoch dafür ein besonderes Sicherheitsventil erforderlich[2]). Der dauernde Kraftverbrauch der Pumpe bei nicht regulierendem Regulator ist, wie auch der Kraftverbrauch des gleichmäßig rotierenden Pendels in die Energiebilanz der Turbine als verlorene Energie einzuführen; den ersteren kann man durch selbsttätige Umschaltung der Pumpe auf Leerlauf in vorteilhafter Weise vermindern. Die Leerlaufarbeit der Ölpumpe verwandelt sich der Hauptsache nach in Wärme, welche ins Drucköl und in die

[1]) Dies ist auch bei der gewöhnlichen Regulatorkonstruktion mit Windkessel der Fall, sobald einmal, nach dem ersten Anlassen der Turbine von Hand, Druck im Windkessel erzeugt und weiterhin dauernd, auch über Betriebspausen weg, erhalten wird.

[2]) Zum Anlassen und Abstellen der Turbine ist hier die Betätigung der Handregulierung erforderlich.

Metallmassen des Regulators übergeht. Diese Wärme muß abgeführt werden. In kleineren Ausführungen geschieht dies ohne weiteres durch Ausstrahlung, in großen Ausführungen muß jedoch das Öl künstlich gekühlt werden, indem man entweder Kühlschlangen mit Wasserzirkulation in den Ölbehälter einbaut oder das Öl auf dem Rückwege vom Steuer- bzw. Überströmventil zum Ölbehälter zuerst durch das Unterwasser der Turbine führt. In Kraftstationen mit einer größeren Anzahl gleichzeitig laufender Tur-

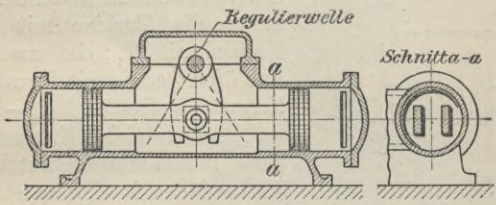

Fig. 87. Servomotor mit Doppel-Plungerkolben.

binen werden die Ölpumpen der Regulatoren durch eine Ringleitung miteinander verbunden, so daß sie sich gegenseitig im Falle des Versagens einer Pumpe aushelfen können. Vielfach wird in solchen Fällen auch eine Zentraldruckölanlage mit Antrieb der Pumpen durch kleine Turbinen oder Elektromotoren angeordnet.

Der Servomotor wird entweder in der Art eines Dampfzylinders mit einem Scheibenkolben (Fig. 83) ausgeführt oder man verwendet nach Fig. 87 zwei Plungerkolben mit zwei einseitig offenen Zylindern.

Im letzteren Falle läßt sich eine Vereinfachung der Regulierung dadurch erzielen, daß man nach Fig. 88 die beiden Zylinder mit verschieden großen

Bohrungen ausführt und den Arbeitsraum Z_1 des kleineren Zylinders direkt an den Windkessel Wi anschließt, so daß in diesem Raum dauernd voller Öldruck herrscht, während der Öldruck im Zylinderraum Z_2 durch Heben des Steuerventils V auf Null (Kommunikation mit dem Ölbehälter $Ö$) und durch Senken desselben auf volle, dem Windkesseldruck entsprechende Höhe (Kommunikation mit dem Windkessel Wi) gebracht werden kann. Im ersteren Fall schließt der Servomotor die Turbine mit der Kolbenkraft K_1; im zweiten Fall öffnet er sie mit der resultierenden Kolbenkraft $K_2 - K_1$, welche man gleich K_1 machen kann, indem man die nutzbare Kolbenfläche in Z_2 doppelt so groß nimmt als in Z_1. Im gleichförmigen Betrieb stellt das Steuerventil in Z_2 einen solchen Druck her, daß alle auf Bewegung der Regulierwelle W hinzielenden Kräfte sich aufheben und also die Regulierwelle unverrückbar in der gerade erforderlichen Lage verharrt. Man ersieht aus der Fig. 88 ohne weiteres, daß in diesem Falle das Steuerventil erheblich vereinfacht wird und nur einen einzigen steuernden Kolben k bekommt, während früher (Fig. 83) zwei vorhanden waren. Auch dieser vereinfachte Steuerkolben wird in Wirklichkeit entgegen der obigen schematischen Darstellung vom Pendel nicht direkt, sondern durch Vorsteuerung bewegt.

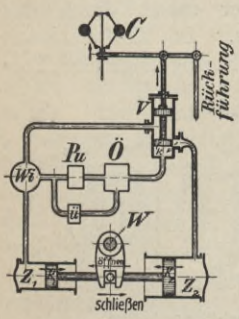

Fig. 88.
Geschwindigkeitsregulator mit Differentialplungerkolben und Steuerung einer einzigen Zylinderseite (Escher, Wyß & Co.).

Die einzelnen Organe der Geschwindigkeitsregulie-

rung: 1) Ölpumpe, 2) Servomotor, 3) Zentrifugalpendel, 4) Steuerventil, 5) Handregulierung werden, solange es irgend möglich ist, zu einem einzigen Apparat vereinigt. Es entstehen so die von den Turbinenfirmen in verschiedenen Größen nach feststehenden Modellen gebauten selbständigen Druckölregler, welche getrennt von der Turbine zur Aufstellung kommen. Die Fig. 89 bis 92 zeigen einige solche Ausführungen, und die Fig. 93 zeigt, wie ein solcher Druckölregler an eine Peltonturbine angeschlossen wird.

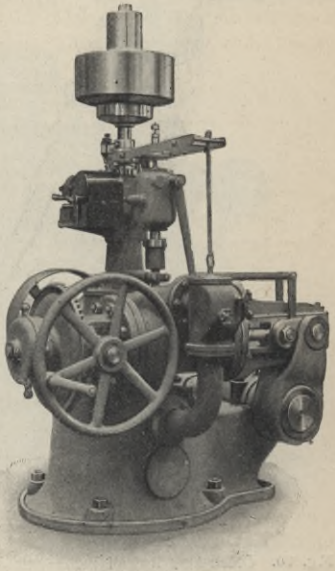

Fig. 89. Öldruckgeschwindigkeitsregulator von Voith.

Die gegenseitige Lage von Pendel, Steuerventil, Rückführung kann in der Ausführung gegenüber dem Schema (Fig. 83), wie die Abbildungen zeigen, mannigfach abgeändert werden, ohne daß jedoch dadurch am Grundgedanken der Regulierung etwas Wesentliches geändert würde. Nur der Regulator von Fig. 92 hat die Eigentümlichkeit, daß hier die Rückführung in

der in Fig. 94 schematisch dargestellten Weise dadurch vorgenommen wird, daß gewissermaßen das Ventilgehäuse dem hier unmittelbar an das Pendel angehängten Kolbenschieber S nachgeführt und so die

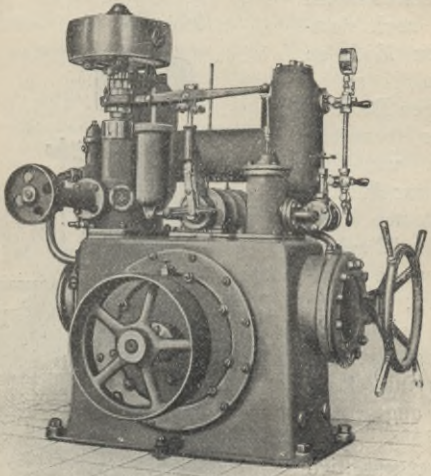

Fig. 90. Öldruckgeschwindigkeitsregulator von Escher, Wyß & Co.

neutrale Stellung des Schiebers wieder hergestellt wird. In Wirklichkeit wird natürlich nicht das ganze Ventilgehäuse gehoben und gesenkt, sondern eine in demselben angebrachte Büchse B; ferner wird der Kolbenschieber S in Wirklichkeit durch einen Schwebekolben ersetzt und die Rückführung so vereinfacht, daß ein

besonderes Rückführungsgestänge r überhaupt nicht notwendig ist[1]).

In großen Regulatoreinheiten macht der Zusammenbau der obigen fünf Hauptbestandteile Schwierigkeiten. Man trennt deshalb hier die Ölpumpe für

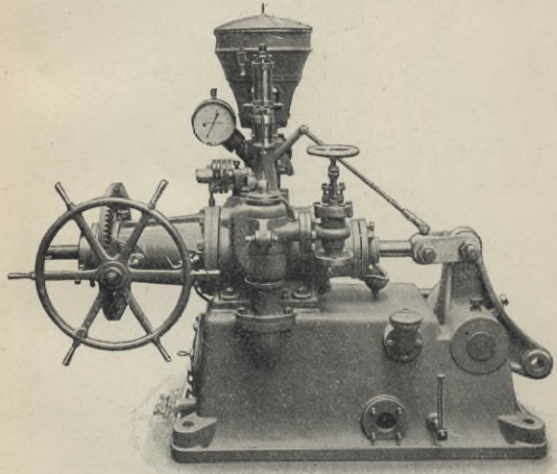

Fig. 91. Öldruckgeschwindigkeitsregulator von Briegleb, Hansen & Co.

sich ab und baut häufig auch den Servomotor direkt an die Turbine an; auch die Handregulierung wird manchmal vom eigentlichen Regulator abgetrennt. Um eine prompte Regulierung zu erzielen, muß be-

[1]) Über ein Ausführungsbeispiel hierzu siehe Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1910 Seite 1844/45.

sonders darauf geachtet werden, daß das Drucköl von Windkessel bzw. Pumpe über Steuerventil zum Servomotor einen möglichst kurzen Weg zu durchlaufen hat; ferner muß dafür gesorgt sein, daß der beim Anlassen

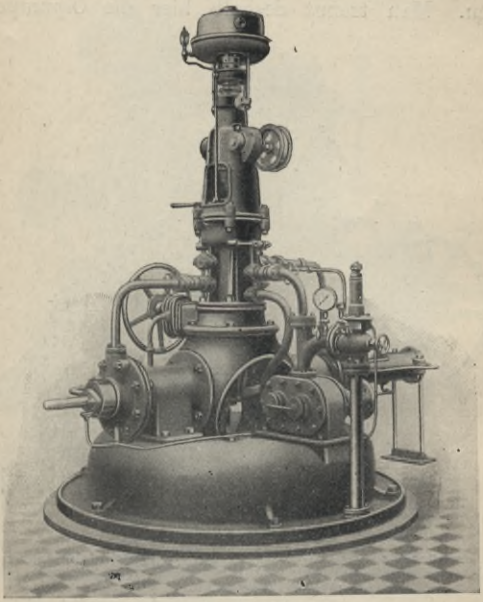

Fig. 92. Öldruckgeschwindigkeitsregulator von Amme, Giesecke & Konegen.

und Abstellen der Turbine eventuell notwendige Übergang von Handregulierung zu automatischer Regulierung und umgekehrt durch möglichst einfache Handgriffe bewerkstelligt wird. Es liegt hierbei nämlich

die Gefahr nahe, daß der Leitapparat der Turbine sowohl von der Handregulierung als von der auto-

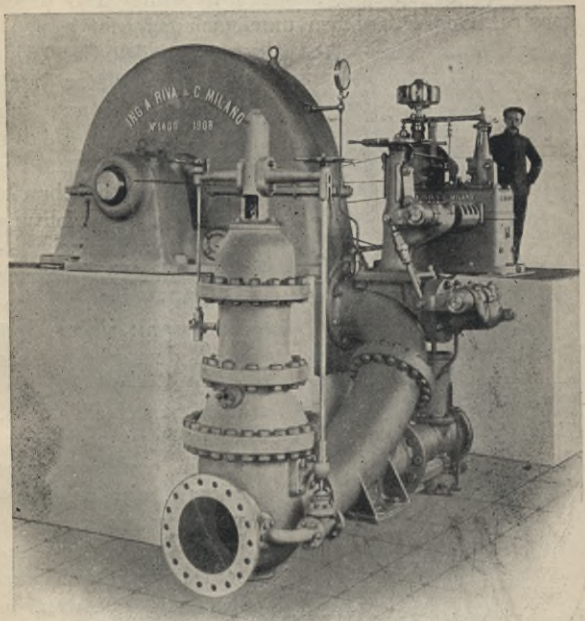

Fig. 93. Peltonturbine mit Geschwindigkeitsregulator und mit Servomotor-Absperrschieber von Ing. A. Riva & Ci. (früher Ing. A. Riva, Monneret & Ci.).

matischen Regulierung abgekuppelt wird. Wenn nun der Leitapparat die Tendenz hat, sich selbst zu öffnen, was manchmal vorkommt, so kann die Turbine durch-

gehen. Der Zustand, daß das Reguliergestänge gleichzeitig von der Handregulierung und von der automatischen Regulierung losgelöst ist, muß also durch konstruktive Maßnahmen unmöglich gemacht sein.

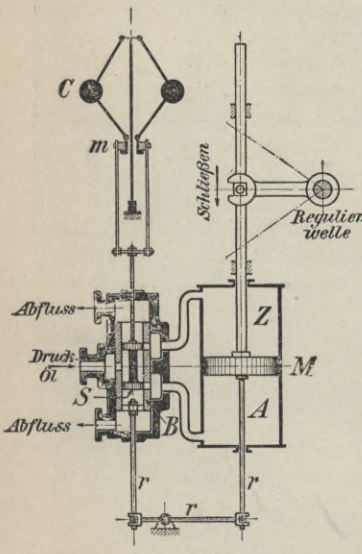

Fig. 94. Schema der Regulierung mit rückführender Büchse im Steuerventil.

An jedem Geschwindigkeitsregulator muß eine Vorrichtung zur Änderung der Umdrehungszahl während des Betriebes angebracht sein. Diese Vorrichtung dient zur Feineinstellung der im Betrieb gewünschten Umdrehungszahl; sie arbeitet nach dem schon früher angegebenen Prinzip, daß man eine Turbine, wenn sie zu rasch läuft, durch einen äußeren Eingriff mittels des Servomotors etwas schließt und, wenn sie zu langsam läuft, durch den Servomotor etwas mehr öffnet. Das Wesen der Vorrichtung, die in verschiedener Weise ausgeführt werden kann, ist also eine Handsteuerung des Steuerventils. Von besonderer Wichtigkeit ist die Vorrichtung in Dreh- und Wechselstromzentralen mit mehreren Einheiten, weil sie sich hier außer zur Drehzahleinstellung auch zur beliebigen Verteilung der Gesamtlast der Zentrale auf die ein-

zelnen Aggregate verwenden läßt. Die Vorrichtung wird entweder von Hand oder in elektrischen Zentralen durch einen kleinen Elektromotor, der von der Schalttafel aus eingeschaltet wird, betätigt. Verlangt werden muß dabei, daß ihre Betätigung die Fähigkeit des Regulators, die Turbine jederzeit vollständig zu öffnen oder vollständig zu schließen, nicht beeinträchtigt. Gewöhnlich dient die Tourenverstellvorrichtung auch zur Korrektur des durch den Ungleichförmigkeitsgrad der Regulierung hervorgerufenen Drehzahlunterschiedes zwischen Leerlauf und Betrieb mit Vollast. Die neueren Regulatorkonstruktionen haben jedoch für diesen Zweck eine besonders konstruierte, sogenannte nachgiebige Rückführung, welche diese Korrektur in einem sekundären, unmittelbar an den Regulatoreingriff anschließenden Vorgang selbsttätig vornimmt, so daß die Turbine sowohl leerlaufend als vollbelastet mit der gleichen Drehzahl läuft. Die nachgiebige Rückführung hat aber den Nachteil, daß sie in Dreh- und Wechselstromzentralen mit einer größeren Anzahl von parallel arbeitenden Aggregaten das Festhalten einer gewollten Belastungsverteilung infolge der durch die Nachgiebigkeit der Rückführung etwas zu groß gewordenen Selbständigkeit der Regulatoren erschwert. Der eine oder andere Regulator gerät dabei infolge der unvermeidlichen kleinen Unterschiede in der Empfindlichkeit der Pendel und in der Beschaffenheit der die Drehzahlkorrektur vornehmenden nachgiebigen Rückführungsorgane leicht auf Abwege und ladet seiner Turbine durch ungewolltes Öffnen des Leitapparates allmählich zu viel Last auf, oder er nimmt ihr allmählich durch ungewolltes Schließen des Leitapparates die Möglichkeit zur Ableistung ihres Arbeitsanteils.

Dieser Übelstand bedingt häufige Eingriffe des Bedienungspersonals und hat öfters zur Wiedereinführung eines Ungleichförmigkeitsgrades im Betrieb der Turbinen gezwungen. Man kann sich auch dadurch helfen, daß man die zu große Selbständigkeit der Regulatoren vermindert und das eigenmächtige Vorgehen einzelner Regulatoren unmöglich macht, indem man ihre sämtlichen nachgiebigen Rückführungen mechanisch so kuppelt, daß die selbsttätige Verstellung der Tur-

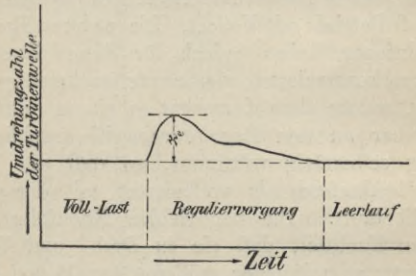

Fig. 95. Tachogramm eines Entlastungsvorgangs bei Anwendung der nachgiebigen Rückführung.

binenleitapparate nur von allen Turbinen gemeinsam vorgenommen werden kann[1]). Fig. 95 zeigt das Tachogramm eines Entlastungsvorganges bei Anwendung einer nachgiebigen Rückführung. Die früher in Fig. 84 (S. 100) vorhanden gewesene dauernde Drehzahlsteigerung y_e ist hier verschwunden.

An jeder Turbine muß ein von der Regulierwelle aus bewegter Zeiger den augenblicklichen Betriebszustand der Turbine erkennen lassen. Den Betriebszu-

[1]) Patent von Briegleb, Hansen & Co., Gotha.

stand einer Turbine kann man bei wassersparender Regulierung durch drei verschiedene Begriffe charakterisieren. Diese sind:

1) der Öffnungsgrad, d. h. das Verhältnis des augenblicklich eingestellten Austrittsquerschnitts des Leitapparates zum normalen Austrittsquerschnitt;
2) der Füllungsgrad, d. h. das Verhältnis der augenblicklich konsumierten sekundlichen Wassermenge zu der bei normaler Öffnung des Leitapparates konsumierbaren Wassermenge;
3) der Leistungsgrad, d. h. das Verhältnis der augenblicklichen Leistung zu der bei normaler Öffnung des Leitapparates möglichen Leistung.

Diese drei Begriffe sind infolge der beim Schließen des Leitapparates eintretenden Veränderungen im Ausflußkoeffizienten der Düse und im Wirkungsgrad der Turbine nicht identisch. Da für den Betriebsleiter einer Turbinenanlage der Leistungsgrad das Wichtigste ist, so empfiehlt es sich, die den Betriebszustand anzeigende Skala am Turbinenregulator nach Leistungsgraden von 0 bis 1 (bei Überlastungsfähigkeit noch etwas über 1 hinaus) zu eichen. Neben der Leistungsskala kann man natürlich auch eine Füllungs- und eine Öffnungsskala anbringen. Die Öffnungsskala ist am einfachsten zu tarieren und ist daher in der Praxis die gebräuchlichste. Bei einigen wasserverschwendenden Regulierungen (z. B. Strahlablenkung) kann von Öffnungs- und Füllungsgrad nicht geredet werden. Hier bleibt nur die Anwendung einer Leistungsskala übrig. Für ganz rohe Zwecke wird manchmal auch einfach eine Skala des Regulierwegs mit Zeiger an irgendeinem Punkte des Reguliergestänges angeordnet.

Anschließend hieran sei bemerkt, daß man auch die Wirkungsgradkurve (Fig. 67, S. 79) nicht nur wie dort in Funktion vom Füllungsgrad, sondern auch in Funktion vom Öffnungsgrad oder Leistungsgrad oder Regulierweg aufzeichnen kann. Die dabei resultierenden Kurven sind nicht identisch und man darf sie daher im allgemeinen nicht verwechseln; allerdings bestehen im Peltonsystem zwischen Füllungsgrad und Öffnungsgrad nur geringe Unterschiede.

§ 14. Rohrdruckregulierung.

In Anlagen mit wassersparender Regulierung ist der Wasserdruck am unteren Ende der Druckrohrleitung bei jedem plötzlichen Eingriff des Geschwindigkeitsregulators plötzlichen vorübergehenden Schwankungen — zum Teil Drucksteigerungen, zum Teil Druckerniedrigungen — unterworfen. Von diesen Druckschwankungen kommen hier zunächst nur die plötzlichen Drucksteigerungen, die sogenannten Wasserstöße, in Betracht, welche entstehen, wenn der wassersparende Geschwindigkeitsregulator am Leitapparat der Turbine infolge einer eingetretenen Entlastung eine rasche Schließbewegung vornimmt. Der Leitapparat läßt dann plötzlich weniger Wasser durchtreten. Dieser geringeren Wasserführung am Austritt entsprechend müßte sich auch plötzlich die Wassergeschwindigkeit in der ganzen Druckrohrleitung vermindern. Infolge der Trägheit der einem in Bewegung befindlichen Eisenbahnzug vergleichbaren Wassermassen ist dies nicht ohne Vernichtung von lebendiger Kraft möglich. Die einmal in Bewegung befindlichen Wasserteilchen bewegen sich zunächst mit ihrer alten Geschwindigkeit weiter, häufen sich am unteren Ende der Rohrleitung

an, wo sie infolge der Verkleinerung der Austrittsöffnung nicht rasch genug austreten können, und erzeugen dadurch einen die überschüssige lebendige Kraft verzehrenden Wasserstoß, welcher, sobald er vermöge der gerade vorliegenden Verhältnisse eine die Rohrleitung und die Turbine gefährdende Höhe erreichen würde, durch besondere Maßnahmen, die sogenannte Rohrdruckregulierung, gemildert werden muß.

Wie man leicht einsieht, ist der obige Übelstand bei der wasserverschwendenden Regulierung, welche unter jedem Belastungszustand mit unveränderter Wasserführung in der Druckleitung arbeitet und bei Entlastungen einfach das überflüssige Wasser irgendwie seitlich auswirft, nicht vorhanden. Man hat daher weiter nichts zu tun, als das Prinzip der wasserverschwendenden Regulierung: Auswerfung des momentan überflüssigen Wassers, vorübergehend mit dem Prinzip der wassersparenden Regulierung zu kombinieren. Die dadurch zum wassersparenden Geschwindigkeitsregulator neu hinzukommende wasserauswerfende Regulierung stellt eben die Rohrdruckregulierung dar. Die wassersparende Regulierung bleibt Hauptregulierung; die wasserauswerfende Regulierung ist Nebenregulierung und ist ihr untergeordnet. Das Zentrifugalpendel kommandiert zunächst nur die wassersparende Regulierung; das Regulierorgan dieser letzteren dagegen regiert die wasserauswerfende Regulierung in der Weise, daß jede Schließbewegung der wassersparenden Regulierung sofort eine, einen Wasserauswurf bewirkende, Regulierbewegung der wasserverschwendenden einleitet. Das Reguliergestänge des wasserauswerfenden Organs wird nun aber in der Weise ausgebildet, daß es in einem sekundären Vorgange seine

eben vorgenommene Regulierbewegung langsam wieder rückgängig macht und so den Wasserauswurf ganz allmählich vermindert und schließlich ganz behebt, wobei die Wassergeschwindigkeit in der Rohrleitung sich allmählich, ohne bemerkbaren Wasserstoß, dem neuen Belastungszustand anpaßt. Dieses Spiel wiederholt sich bei jeder plötzlichen Entlastung.

Für die konstruktive Ausführung des Auswurforgans kann man prinzipiell jede der drei auf S. 75 angeführten wasserverschwendenden Regulierungen benutzen. Das gegenwärtig in der Praxis am häufigsten angewendete Auswurforgan ist jedoch der in Fig. 96 skizzierten, aber heute nicht mehr ausgeführten Schwingschieberregulierung mit Synchronschieber entnommen. Der Synchronschieber *S* öffnet hier einen Nebenauslaß *A* um genau denselben Betrag, um den der Leitapparat *D* durch den Regulierschieber *R* geschlossen wird. Der Rohrdruckregulator besteht nun gewöhnlich auch aus einem solchen Nebenauslaß *A* (Fig. 97), der unmittelbar vor der Turbine an der Druckleitung angebracht wird. Der in Fig. 97 als Flachschieber gezeichnete Verschlußkörper *F* des Nebenauslasses, der auch als Kolbenschieber oder Kegelsitzventil oder endlich als Düse mit Nadel ausgeführt werden kann, ist mit der Regulierwelle *W* der Turbine durch ein Gestänge mit zwischengeschaltetem Ölzylinder *Z* und Kolben *K* derart verbunden, daß jede rasche Schließbewegung der Turbinenregulierwelle die sofortige Anhebung von *F* und damit die Öffnung

Fig. 96.

des Nebenauslasses bewirkt. Das Ventil V schließt sich nämlich infolge des äußeren Luftdrucks beim geringsten aufwärts gerichteten Bewegungsimpuls der Kolbenstange K und kuppelt dadurch den Kolben mit dem Zylinder Z hydraulisch derart zusammen, daß das Ganze von B bis F wie ein nahezu starres, von der Regulierwelle W angehobenes Gestänge wirkt. Die Starrheit dieses Gestänges wird jedoch dadurch gemildert, daß eine enge Umlaufleitung U eine langsame Ölzirkulation von der Zylinderseite Z_2 zur Zylinderseite Z_1 und damit eine ganz langsame abwärts gerichtete, durch den Drosselhahn H regulierbare Bewegung des Zylinders Z gegenüber dem Kolben ermöglicht. Diese langsame Abwärtsbewegung tritt nun nach jeder raschen Anhebung des Zylinders infolge der Gewichtswirkung des Fallgewichtes G tatsächlich ein und es wird dadurch der Nebenauslaß durch den Schieber F ganz langsam wieder geschlossen. Im Fall einer plötzlichen Belastung dagegen drückt die

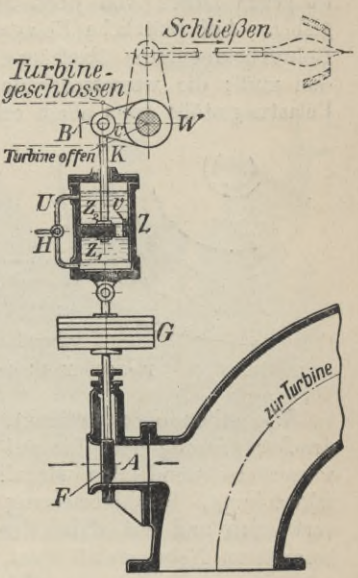

Fig. 97.
Schema der Rohrdruckregulierung durch Nebenauslaß.

Regulierwelle W die Kolbenstange K samt Kolben nach unten. Dabei öffnet sich das Ventil V sofort und der Kolben taucht einfach tiefer in den in vollständiger Ruhe verharrenden Zylinder Z ein. Das System B—F ist gegen Druck von oben nahezu vollständig nachgiebig. Auf plötzliche Belastungen reagiert also der Rohrdruckregulator überhaupt nicht, wie dies auch sein muß; die wassersparende Hauptregulierung muß Belastungsstöße ganz allein erledigen.

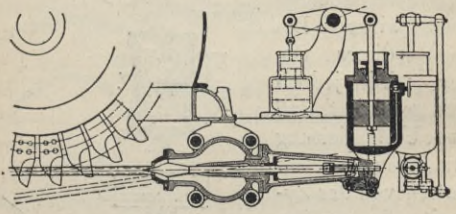

Fig. 98. Nadelschwenkdüse.

Wie schon oben bemerkt, kann man zur Rohrdruckregulierung auch die auf S. 75 aufgeführten drei wasserverschwendenden Reguliermethoden: Strahlabschwenkung, Strahlabweisung und Strahlabspaltung verwenden und hat dabei den Vorteil, daß man den besonderen Nebenauslaß spart, weil hier die Düse den zeitweise erforderlichen seitlichen Wasserauswurf selbst übernimmt. Fig. 98 zeigt beispielsweise die wassersparende Nadelregulierung mit angebauter Schwenkvorrichtung[1]). Es ist dies die auf S. 77 erwähnte Nadelschwenkdüse. Die Schwenkvorrichtung hat

[1]) Patent Zodel. Die Figur ist der deutschen Patentschrift entnommen.

genau wie der Schieber *F* des Nebenauslasses (Fig. 97) ein einseitig nachgiebiges Gestänge und sie wird von der Regulierwelle der Turbine so gesteuert, daß jeder Schließbewegungsimpuls der Nadel sofort eine den Strahl vom Laufrad abschwenkende Drehbewegung der ganzen Nadeldüse und damit seitlichen Wasserauswurf hervorruft. Diese Drehbewegung der Düse

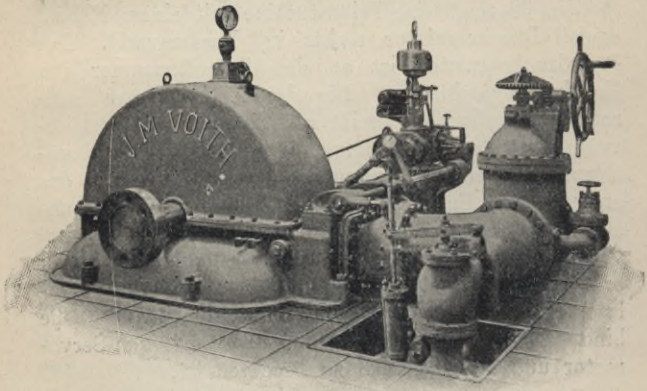

Fig. 99. Peltonturbine (Voith) mit Geschwindigkeitsregulator und Rohrdruckregulator (Turbine der Anlage Nikko Ashio in Japan).

macht sich weiterhin selbsttätig ganz langsam rückgängig, wobei sich die Nadel ebenso langsam weiterschließt, bis zuletzt die Düse in ihre normale Lage zurückkommt und gleichzeitig die Reguliernadel ohne Wasserstoß den Mündungsquerschnitt dem neuen Belastungszustand entsprechend verkleinert hat. Im Prinzip ist diese Art der Druckregulierung und die übrigen hier nicht besonders erwähnten Rohrdruckregulierungen,

die durch nachgiebige Unterordnung eines wasserverschwendenden unter ein wassersparendes Regulierorgan möglich sind, identisch mit der Druckregulier-methode durch Nebenauslaß. An allen Rohrdruckregulatoren soll eine Zeigervorrichtung angebracht sein, welche den augenblicklichen Grad des Wasserauswurfs erkennen läßt.

Fig. 99 zeigt eine Peltonturbine mit einem Nebenauslaß-Druckregulator rechts im Vordergrund. Der Rohrdruckregulator ist an den Zulaufkrümmer der Turbine angeschlossen. Die deutlich sichtbare horizontale Regulierwelle treibt mit einem nach links abzweigenden Reguliergestänge die wassersparende Regulierung — hier Zungenregulierung — an, während das am vorderen Ende der Regulierwelle nach rechts abzweigende zweite Gestänge den hier als Doppelsitzventil ausgeführten Nebenauslaß bedient; die hierzu erforderliche Arbeitsleistung muß hier also vom Regulatorservomotor geleistet und durch die Regulierwelle hindurchgeleitet werden, was bei Bemessung von Servomotor und Regulierwelle zu beachten ist.

Der über die Notwendigkeit der Anwendung eines Rohrdruckregulators entscheidende Faktor ist die durch den Wasserstoß bei einer plötzlichen vollständigen Entlastung am unteren Rohrende auftretende prozentuelle Drucksteigerung ΔH über den normalen Gefällsdruck H. Es ist:

$$\Delta H = 100 \cdot \frac{H_{max} - H_{normal}}{H_{normal}} \quad . \quad . \quad (40)$$

Da Druckrohrleitungen für Wasserkraftanlagen immer mit einem den Betriebsdruck um mindestens 50% übersteigenden Probedruck geprüft werden, so

kann man einen Wasserstoß mit ΔH gleich $50\,\%$ gerade noch als ungefährlich bezeichnen. Wasserstöße mit stärkerer Druckanschwellung dagegen sind gefährlich und müssen durch Rohrdruckregulatoren gemildert werden. Wenn bei einem Entlastungsvorgang von Vollast auf Leerlauf die Wassergeschwindigkeit in der L_{ro} Meter langen Rohrleitung in der Zeit T Sekunden (Schließzeit des Regulators) vom Wert v_{voll} auf den Wert v_{leer} (m/sek), also um die Differenz

$$\Delta v = v_{voll} - v_{leer}$$

sinkt, so hat der entstehende Wasserstoß annähernd ein ΔH:

$$\Delta H\,(\%) = (14 \div 15)\,\frac{L_{ro}^{meter} \cdot \Delta v^{m/sek}}{H_{meter} \cdot T_{sek}} \quad . \quad (41)$$

Die Geschwindigkeit v_{leer} ist im allgemeinen, auch wenn mehrere Turbinen an eine Rohrleitung angeschlossen sind, gleich Null einzusetzen, da eine plötzliche Totalentlastung auch an allen Turbinen gleichzeitig vorkommen kann. Nur wenn die eine oder die andere dieser gleichzeitig arbeitenden Turbinen keinen Geschwindigkeitsregulator hat, kann für v_{leer} unter Umständen ein Wert größer als Null in Betracht kommen. Im Wert v_{voll} muß eventuell auch eine etwaige Überlastungsfähigkeit der Turbinen berücksichtigt werden. Man kann an Hand der obigen Formel für jeden Fall untersuchen, ob ohne Druckregulierung eine gefährliche Drucksteigerung entsteht, ob also ein Druckregulator erforderlich ist oder nicht. Der Wert der rechten Seite von Gl. (41) wird hauptsächlich bestimmt durch das Verhältnis L_{ro}/H, das man als die „Relativrohrlänge" der Anlage bezeichnet. Man

kann daher meist schon aus dieser Relativrohrlänge auf die Notwendigkeit oder Nichtnotwendigkeit eines Druckregulators schließen. Je kleiner die Relativrohrlänge, d. h. je kürzer die Rohrleitung im Verhältnis zum Gefälle ist, um so weniger ist unter sonst gleichen Umständen ein Druckregulator notwendig. Man muß daher beim Projektieren einer Anlage immer auf möglichste Kürzung der Rohrleitung hinarbeiten.

Bezüglich des Grades der von einem Rohrdruckregulator zu verlangenden Milderung der Wasserstöße ist zu bemerken, daß man sich naturgemäß damit begnügen kann, wenn das ΔH der stärkstmöglichen Wasserstöße mit Sicherheit auf $50\,\%$ reduziert wird. Gewöhnlich geht man aber weiter und reduziert dieses ΔH bis auf etwa 10 bis $15\,\%$. Nur wenn der hierzu notwendig werdende Wasserauswurf gar zu umfangreich wird, oder wenn Wasserverluste möglichst vermieden werden müssen, wie z. B. in Stauseeanlagen, beschränkt man den Wasserauswurf und rückt mit ΔH dem ersteren Wert wieder näher. In Stauseeanlagen soll man übrigens, eben dieser Wasserverluste wegen, der Notwendigkeit, Rohrdruckregulatoren anwenden zu müssen, möglichst aus dem Wege gehen, indem man neben dem Streben nach kurzer Relativrohrlänge auch tunlichst geringe Wassergeschwindigkeit in der Rohrleitung (vgl. Gl. 41), d. h. große Rohrlichtweiten anwendet. Da ein Rohrdruckregulator ein komplizierter Mechanismus ist, der gelegentlich versagen kann, so empfiehlt es sich, die Druckrohrleitungen, so lange es irgend angängig ist, für die volle, ohne Druckregulierung auftretende Drucksteigerung zu bemessen.

§ 15. Reguliervorschriften und Reguliergarantien.

In § 13 ist angegeben, daß jeder Reguliervorgang von einer vorübergehenden Geschwindigkeitsänderung z_e bei Entlastung und z_b bei Belastung begleitet ist (vgl. Fig. 84 und 85, S. 100/101). Dieser momentane Geschwindigkeitsausschlag nach oben bzw. unten ist im Betrieb sehr störend. Der Käufer einer Wasserturbine hat ein Interesse daran, daß diese Werte z_e und z_b möglichst klein gehalten werden; er schreibt daher zweckmäßigerweise bei Bestellung einer Wasserturbine dem Lieferanten vor, wie groß sie für eine gegebene plötzliche Laständerung höchstens werden dürfen. Die vorübergehenden Drehzahlausschläge z_e und z_b und die entsprechenden bleibenden Drehzahländerungen y_e und y_b, die natürlich im allgemeinen ebenfalls möglichst klein sein sollen, gibt man in Prozenten der normalen Umdrehungszahl an. Bezeichnet man die prozentuelle Laständerung mit x (x_e = plötzliche Entlastung, x_b = plötzliche Belastung), so kann man beispielsweise für mittlere Verhältnisse folgenden Ansatz als Reguliervorschrift aufstellen:

$$\left.\begin{matrix} x_e = \\ x_b = \end{matrix}\right\} 25\,\% \qquad \left.\begin{matrix} z_e = \\ z_b = \end{matrix}\right\} \text{höchstens } 3\,\%$$

bei (42)

$$\left.\begin{matrix} y_e = \\ y_b = \end{matrix}\right\} \text{höchstens } 0{,}5\,\%$$

mit der Maßgabe, daß die liefernde Turbinenfirma hiernach für 25 % plötzliche Laständerung solche Reguliergarantien zu geben hat, daß im Garantieansatz für z keine größeren, sondern höchstens kleinere Werte auftreten dürfen als in der Reguliervorschrift.

Die Reguliervorschrift beschränkt man gewöhnlich auf den Fall einer 25prozentigen Laständerung; als Reguliergarantie dagegen läßt man sich die Werte z und y für 25%, 50% und 100% Laständerung angeben.

Man kann nun die Reguliervorschrift je nach den Zahlen, die man für z einsetzt, mehr oder weniger scharf stellen. Maßgebend für die wünschenswerte Reguliervorschrift sind die Rücksichten auf die Kraftverbraucher; maßgebend für die erreichbare Reguliergarantie ist aber neben anderem in hohem Maße die Relativrohrlänge. Je größer die Relativrohrlänge, um so schwieriger wird die Erzielung einer guten Regulierung. Unter Umständen muß sich daher hier das Wünschenswerte dem Erreichbaren anpassen. Für Peltonanlagen mit guter Relativrohrlänge (2 bis 3) kann man z. B. folgende Reguliergarantie erreichen:

x_e	x_b	z_e	z_b	y_e	y_b
%	%	%	%	%	%
25	25	2	2	0,5	0,5
50	50	3	4	1,0	1,0
100	100	8	—	2,0	2,0

Für Peltonanlagen mit schlechter Relativrohrlänge dagegen ergibt sich beispielsweise:

x_e	x_b	z_e	z_b	y_e	y_b
%	%	%	%	%	%
25	25	3,5	4	0,5	0,5
50	50	5,5	8	1,0	1,0
100	100	11	—	2,0	2,0

Bezüglich der Kraftverbraucher hat man hinsichtlich der Regulierung zwei Kategorien zu unterscheiden:

I) elektrische Zentralen, welche auf öffentliche Stromverteilungsnetze arbeiten;

II) private Fabrikbetriebe oder private Kraftverteilungsanlagen mit mechanischer oder elektrischer Kraftübertragung zwischen Turbinen und Betriebsmaschinen.

Da in der ersten Kategorie der Gang der Turbinenbelastung vom Zufall abhängt, so muß man hier jederzeit stärkster Belastungs- und Entlastungsstöße vom Netz her gewärtig sein. Die Antriebsturbinen von Elektrogeneratoren für öffentliche Stromlieferung müssen daher, namentlich wenn unter den Stromabnehmern auch elektrische Bahnen sind, den schärfsten Anforderungen an Reguliergenauigkeit sowohl bei Entlastung als bei Belastung genügen.

In der zweiten Kategorie können wohl auch plötzliche Totalentlastungen, z. B. bei Unglücksfällen im Betrieb, vorkommen; plötzliche unerwartete Belastungen dagegen können hier dadurch vermieden werden, daß man dem Bedienungspersonal der Betriebsmaschinen langsames Einschalten derselben und vor Eintritt besonders starker Belastungen die Abgabe eines Signals an den Turbinenwärter zur Pflicht macht. Von den Turbinen dieser zweiten Kategorie ist demnach bezüglich der Entlastungsvorgänge auch gute Regulierfähigkeit zu verlangen; dagegen kann man hier für Belastungsvorgänge die Anforderungen an die selbsttätige Regulierung mäßigen. Hiervon wird namentlich in Anlagen mit großer Relativrohrlänge Gebrauch gemacht.

§ 16. Schwungmassenbedarf.

Da die Wasserturbinen im normalen Betrieb ein so gut wie vollständig gleichförmiges Drehmoment erzeugen, so arbeiten sie mit dem Ungleichförmigkeitsgrad $1/\infty$ und brauchen also im Gegensatz zu Kolbenmaschinen für den gleichförmigen Betrieb überhaupt keine Schwungmassen. Sobald aber einer Turbine mit Rücksicht auf mögliche Lastschwankungen bestimmte Reguliervorschriften gemacht werden, benötigt sie zur Einhaltung dieser Vorschriften einen bestimmten Betrag an mit der Turbinenwelle rotierender Schwungmasse, welche vermöge ihres Beharrungsvermögens auf die während der Entlastungs- und Belastungsvorgänge auftretenden Geschwindigkeitsänderungen dämpfend einwirkt und also den Geschwindigkeitsregulator in seinem Bestreben, die Drehzahl konstant zu halten, unterstützt.

Der Schwungmassenbedarf wächst: erstens mit der Schließ- und Öffnungszeit des Geschwindigkeitsregulators, d. h. je langsamer der Regulator arbeitet, um so größer muß die ihn unterstützende Schwungmasse gemacht werden; er wächst zweitens mit der Verschärfung der Reguliervorschriften, d. h. mit der Abnahme der Werte z (S. 125, Gl. 42); er wächst endlich drittens mit dem Wert ΔH der Gl. 41 (S. 123), und zwar aus folgenden Gründen. Wenn während eines Entlastungsvorgangs eine plötzliche Abschließung am Turbinenleitapparat vorgenommen wird, so entsteht die bekannte Drucksteigerung ΔH. Infolge dieser Drucksteigerung strömt das Wasser aus dem verbleibenden Düsenquerschnitt mit größerer Geschwindigkeit aus als es soll. Dies bedeutet einen ungewollten Energiezuschuß zum Laufrad, welcher der vom Regu-

lator zwecks Gleichhaltung der Drehzahl angestrebten Verminderung der Energiezufuhr gerade entgegenwirkt; die Turbine zeigt sich infolgedessen widerspenstig gegen den Geschwindigkeitsregulator. Im Falle einer plötzlichen Belastung macht sich genau dieselbe Widerspenstigkeit im umgekehrten Sinne geltend: die vom Regulator vorgenommene plötzliche Eröffnung des Leitapparates hat eine der eben erwähnten Drucksteigerung ΔH ganz analoge und auch ungefähr nach derselben Gleichung berechenbare Druckverminderung am unteren Rohrende und damit ein ungewolltes und im betreffenden Augenblick doppelt unangenehmes Energiedefizit gegenüber dem augenblicklichen Sollwert der Düsenlieferung zur Folge. Die in ΔH zum Ausdruck kommende Trägheit der Wassermassen in der Rohrleitung kämpft also gegen den Geschwindigkeitsregulator an, und er bedarf, um nicht zu unterliegen, einer Unterstützung, welche ihm in Form von erhöhten Schwungmassen gegeben werden muß. Je größer ΔH, um so größer müssen diese Schwungmassen werden.

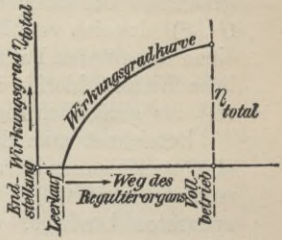

Fig. 100. Wirkungsgradkurve in Funktion des Regulierwegs.

In geringerem Maße hat ferner noch der Wirkungsgradverlauf (vgl. S. 79 und 116) Einfluß auf den Schwungmassenbedarf. Dieser wird nämlich um so kleiner, je steiler die in Funktion des Regulierwegs aufgezeichnete Wirkungsgradkurve (Fig. 100) abfällt; denn während der Entlastungen (Schließvorgänge) wirkt die mit rascher

Wirkungsgradabnahme verbundene Minderung der im Laufrad frei werdenden Energie gerade im Sinne des zur gleichen Zeit auf Schmälerung der Energiezufuhr hinarbeitenden Geschwindigkeitsregulators. Eine schlechte Wirkungsgradkurve unterstützt also den Regulator bei Entlastungen, und wie man leicht einsieht auch bei Belastungen; sie wirkt somit schwungmassensparend.

Für die Wirksamkeit einer Schwungmasse ist maßgebend ihr Massenträgheitsmoment[1]) bezogen auf die Turbinenachse. In der Praxis rechnet man aber nicht mit dem Massenträgheitsmoment, sondern mit dem sogenannten Schwungmoment (abgekürzte Bezeichnung: $G \cdot D^2$), das sich vom Massenträgheitsmoment nur durch einen konstanten Faktor unterscheidet. Die gebräuchliche Einheit hierfür ist das kgm^2 für kleine und das tm^2 für große Schwungmomente.

Bezeichnet man die Regulierzeit, die der zunächst als wassersparend vorausgesetzte Geschwindigkeitsregulator zum vollen Öffnen bzw. Schließen des Leitapparates benötigt, wie früher mit T und die Regulierforderung z bei einer Lastschwankung $x = 25\,\%$ mit z_{25}, so kann man aus der Leistung N und der Drehzahl n der Turbinenwelle den ungefähren gesamten Schwungmassenbedarf $\Sigma G \cdot D^2$ in kgm^2 aus der nachstehenden Näherungsformel berechnen:

$$\Sigma G \cdot D^2 = 1450000 \frac{T \cdot N}{z_{25} \cdot n^2} \left(1 + 0{,}27 \frac{L_{ro} \cdot \Delta v}{H \cdot T}\right)^{3/2} \quad (43)$$

Über Δv vgl. S. 123. Etwaige Überlastungsfähigkeit der Turbinen muß sowohl im Wert N als im Wert Δv berücksichtigt werden.

---

[1]) Vergl. Sammlung Göschen, Mechanik.

Wenn die Schwungmassen nicht auf der Turbinenwelle, sondern auf einer von ihr starr angetriebenen Vorgelegwelle angebracht werden, so ist für n die Umdrehungszahl dieser Vorgelegwelle einzusetzen. Die genaue Berechnung des Schwungmassenbedarfs muß man den liefernden Turbinenfirmen überlassen, welche hierfür meist auf Grund der Ergebnisse von eigenen Versuchen besondere, die Eigenart ihrer Regulator- und Turbinenkonstruktionen berücksichtigende Formeln besitzen.

Für wasserverschwendende Regulierungen wird wegen $\Delta v = 0$ der Klammerausdruck in Gl. (43) gleich 1, während er sonst größer als 1 ist. Die wasserverschwendende Regulierung kommt also mit erheblich weniger Schwungmasse aus als die wassersparende. In Anlagen mit Rohrdruckregulierung ergibt sich für die Entlastungsvorgänge ebenfalls eine Verminderung des Schwungmassenbedarfs, weil hier v infolge der Einwirkung des Rohrdruckregulators im ersten Moment sich nur wenig ändert. Für die Belastungsperioden dagegen bleibt der volle Wert von Δv und demnach auch der volle Schwungmassenbedarf bestehen, sofern hierfür die zulässige Schwankung z_{25} (Gl. 43) nicht vergrößert wird. In Anlagen der Kategorie I (S. 127) tritt also durch die Anwendung eines Rohrdruckregulators durchaus keine Ermäßigung des Schwungmassenbedarfs ein. In Anlagen der Kategorie II dagegen, wo für Belastungsvorgänge erheblich laxere Regulierbedingungen gestellt werden können, kann man nach Anwendung eines Rohrdruckregulators die Schwungmassen auf den für Entlastungsvorgänge erforderlichen Wert vermindern.

Nach zahlenmäßiger Festlegung des Schwungmassen-

bedarfs hat man zunächst zu untersuchen, wie groß das Schwungmoment der auf der Turbinenwelle und etwaigen starr von ihr angetriebenen Vorgelegwellen sowieso vorhandenen Teile einschließlich Turbinenlaufrad ist. Durch Riemen und Seile angetriebene Massen werden am besten nicht gerechnet, da ihre Wirksamkeit ganz vom variablen Durchhang der Riemen bzw. Seile abhängt. Wenn das vorhandene Schwungmoment nicht ausreicht, so sind zusätzliche Schwungmassen entweder durch Anbau von Schwungringen an die rotierenden Teile oder durch besondere Schwungräder beizuschaffen. Solange es geht, vermeidet man diese letzteren, denn sie bedingen durch die Anbringung von Wellenverlängerungen und Außenlagern Preiserhöhungen und meist auch Vergrößerung des Raumbedarfs und damit der Baukosten. Als Material für die Schwungräder wird, sofern man mit Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 35 m/sek am Schwungring auf wohlproportionierte Schwungräder kommt, zähes Gußeisen verwendet; wenn sich aber hierbei für den Schwungring plumpe, walzenartige Formen ergeben, so greift man zu Stahlguß, wobei Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 55 m/sek zulässig sind.

Da Turbinen mit Handregulierung nur in solchen Betrieben angewendet werden dürfen, in denen keine plötzlichen Belastungsschwankungen zu befürchten sind und keine Reguliervorschriften gemacht werden, so brauchen diese Turbinen keine Schwungmassen. Wenn aber infolge Änderung der Betriebsverhältnisse nachträglich die Anbringung eines Geschwindigkeitsregulators notwendig wird, so muß meist auch gleichzeitig ein Schwungrad angebracht werden. Man tut daher gut, schon beim Entwurf solcher Turbinen mit Handregu-

lierung Platz für die Unterbringung eventuell später erforderlich werdender Schwungmassen vorzusehen.

Aus der Gl. (43) ergibt sich wieder der schädliche Einfluß eines auf lange Relativrohrlänge führenden Mißverhältnisses von L_{ro} und H. Wenn man mit annehmbarem Schwungmassenbedarf auskommen will, muß man daher möglichst kleine Relativrohrlänge anstreben; Werte von 1 bis 3 sind für Peltonanlagen normal; Werte von 6 und mehr müssen als schlecht bezeichnet werden.

§ 17. Regulierungen für besondere Fälle.

I. Wassersparende Anlagen mit abnorm schlechter Relativrohrlänge.

Wenn Wasserturbinen unter abnorm schlechter Relativrohrlänge (längere horizontale oder schwach geneigte Strecken in der Rohrtrasse) wassersparend betrieben werden sollen, so kann es — namentlich an größeren, langsam umlaufenden Turbinen — vorkommen, daß der Schwungmassenbedarf bei normaler Reguliervorschrift eine solche Größe erreicht, daß Schwungräder von praktisch unausführbaren Abmessungen resultieren. Für Anlagen der Kategorie I (S. 127) sind solche Fälle meist aussichtslos, und man tut am besten, sich sofort zu einer auf bessere Relativrohrlänge hinzielenden Umarbeitung des Projekts nötigenfalls unter Preisgabe von etwas Gefälle zu entschließen. Als die Sachlage etwas verbesserndes, aber in Peltonanlagen des hohen Gefälles wegen nicht immer anwendbares Hilfsmittel kommt die Anordnung eines Standrohres (Fig. 101) in Betracht, welches die Druckrohrleitung in zwei Teile L_1 und L_2 zerlegt, von denen nur L_2

für die Berechnung des Schwungmassenbedarfs maßgebend ist.

Wenn die Anlage jedoch zur Kategorie II (S. 127) gehört und also für Belastungsvorgänge keine scharfen Regulierforderungen bestehen, so ist der Fall mit der nachstehend erläuterten Regulatoranordnung wohl ausführbar. Als Hauptregulierung muß man jetzt eine selbsttätig vom Zentrifugalpendel gesteuerte wasserverschwendende Regulierung nehmen. Dieser Hauptregulierung wird eine wassersparende, gewöhnlich von Hand zu betätigende Nebenregulierung selb-

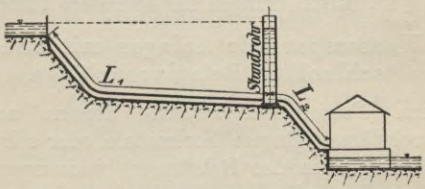

Fig. 101. Druckrohrleitung mit Standrohr.

ständig beigeordnet. Die Nebenregulierung ist so eingerichtet, daß mit ihr nur so langsame Querschnittsänderungen der Düsenmündung vorgenommen werden können, daß keine merkbaren Druckschwankungen entstehen können. Beispiele für diese Regulierweise zeigen die Fig. 102[1]) (Hauptregulierung durch Strahlabweisung, Nebenregulierung durch Reguliernadel) und Fig. 103[1]) (Hauptregulierung durch Strahlabschwenkung, Nebenregulierung ebenfalls durch Reguliernadel[2])). Für

[1]) In den Vereinigten Staaten von Amerika patentiert. Die Figur ist der Patentschrift entnommen.

[2]) Mit der Nadelschwenkdüse Seite 120 ist diese Anordnung nicht zu verwechseln.

plötzliche Entlastungen läßt sich hiermit ohne Schwierigkeit eine normale Reguliergenauigkeit zunächst unter Wasserverschwendung erreichen, und diese Wasserver-

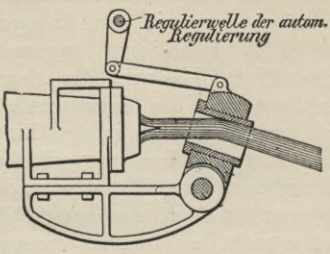

Fig. 102.

schwendung läßt sich anschließend hieran durch Betätigung der Nebenregulierung beseitigen. Wenn also die Turbine z. B. plötzlich vollständig entlastet wird,

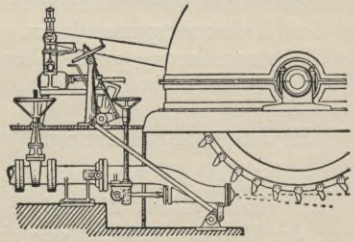

Fig. 103.

so wird zunächst der Strahl automatisch abgewiesen bzw. abgeschwenkt und dann die Nadel allmählich von Hand so lange langsam vorgeschoben, bis der Geschwindigkeitsregulator den nunmehr erheblich dünner

gewordenen Strahl wieder ungestört voll aufs Laufrad arbeiten läßt. Einer plötzlichen unerwarteten Belastung gegenüber wäre die Turbine jetzt hilflos; sie würde hierdurch festgebremst werden. Plötzliche Belastungen müssen aber in den Anlagen der Kategorie II nach S. 127 durch Signal angemeldet werden. Auf ein solches Signal hin wird der Maschinenwärter durch Öffnen der Nadeldüse einen zunächst unnötig starken Strahl einstellen, der infolge Einwirkung der automatischen Hauptregulierung vorläufig zum Teil am Laufrad vorbeiströmt. Wenn jetzt die plötzliche Belastung kommt, so hat der automatische Hauptregulator weiter nichts zu tun, als diesen Strahl voll aufs Laufrad einzuwerfen. Auf diese Weise ist auch die Aufnahme plötzlicher Mehrbelastungen ohne Abfallen der Drehzahl möglich. Langsamen Mehrbelastungen kann der Maschinenwärter gegebenenfalls noch mit der Nebenhandregulierung nachkommen. Um die Gefahr der unnötigen Wasserverschwendung bei Unachtsamkeit des Bedienungspersonals zu verringern, hat man die Nebenregulierung auch schon für automatische Betätigung eingerichtet[1]).

II. Bremsregulierung.

Es kommt manchmal vor, daß verschiedene Wasserkraftanlagen an einem Kanal hintereinander liegen, so daß immer der Unterwasserkanal der einen Anlage zugleich Oberwasserkanal für die nächstfolgende ist. In solchen Fällen wird gewöhnlich dem Oberlieger in

[1]) Ein Beispiel hierfür ist die Turbinenanlage der Stadt Nordhausen (vgl. Pfarr, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, August 1908), gebaut von Briegleb, Hansen & Co.

der Konzessionsurkunde die Vorschrift gemacht, daß er seinem Unterwasserkanal das Wasser jederzeit genau so zuführen muß, wie es dem Oberwasserkanal zufließt. Zeitweise Aufstauungen des Wassers im Oberwasserkanal, wie sie sonst auch in Flußanlagen in mehr oder weniger hohem Maße vorkommen, sind also hier verboten. Bei dieser Sachlage wird man nun zunächst die Anwendung einer wasserverschwendenden Regulierung erwägen. Die wasserverschwendende Regulierung ist hier auch durchaus am Platze und erfüllt den gewollten Zweck vollkommen. Außerdem ist aber noch die Anwendung einer anderen, verschiedene Vorzüge aufweisenden Regulierung, nämlich der auf Energieverschwendung beruhenden Bremsregulierung, in folgender Weise möglich. Anstatt das momentan überschüssige Wasser durch Regulierorgane an der Turbine vorbeizuleiten, läßt man die Turbinen dauernd mit voller Füllung arbeiten und vernichtet den zeitweisen Überschuß an erzeugter Energie durch eine von einem Zentrifugalpendel eingeschaltete mechanische oder hydraulische oder elektrische Bremse. Die Bremsregulatoren mit mechanischen und hydraulischen Bremsen haben keine große Verbreitung gefunden, da die Energievernichtung hier Schwierigkeiten macht; den elektrischen Bremsregulatoren mit Wasserwiderstand wird neuerdings mehr Beachtung geschenkt[1]). Die Bremsregulierung ist die einzige Geschwindigkeitsregulierung, welche ohne Nebenapparate nach jeder Belastungsänderung immer wieder auf konstante Umdrehungszahl einreguliert; sie hat ferner noch den

[1]) Elektrische Bremsregulatoren werden von der Firma Voith, Heidenheim, nach Patenten Wolff-Voith, gebaut.

Vorteil, daß sie besondere Regulierorgane am Leitapparat der Turbine entbehrlich macht.

§ 18. Versagen der Geschwindigkeitsregulierung.

Wenn nach einer plötzlichen Totalentlastung einer mit voller Füllung arbeitenden Turbine die Schließbewegung des Geschwindigkeitsregulators aus irgendeinem Grunde ausbleibt, so geht die Turbine durch; sie beginnt zu schleudern und erreicht dabei, wie die Erfahrung gezeigt hat, eine Umdrehungszahl, welche in Peltonturbinen die normale um 80 bis 85% übersteigt. Bei dieser höheren Umdrehungszahl (Schleuderdrehzahl) arbeitet das Wasser mit so starken Energieverlusten, daß seine volle Energie schon zum Leerbetrieb des Turbinenlaufrades aufgebraucht wird. Eine weitere Steigerung der Drehzahl ist daher nicht möglich. Wenn nun das Laufrad oder die übrigen rotierenden Teile auf der Turbinenwelle bezw. auf starr oder halbstarr an dieselbe angeschlossenen Antriebswellen die mit dieser Drehzahlsteigerung verbundene starke Mehrbeanspruchung durch Zentrifugalkraft nicht ertragen können, so erfolgt eine Durchgangskatastrophe. Der Fall des Versagens des Geschwindigkeitsregulators wird zwar unter normalen Umständen kaum eintreten; er ist jedoch auch bei sorgfältigster Konstruktion, Ausführung und Wartung des Regulators kein Ding der Unmöglichkeit. Es ist nämlich wohl denkbar, daß im Leitapparat der Turbine zufällig eine Gruppierung von Fremdkörpern sich so festklemmt, daß derselbe zwar nicht viel an Austrittsquerschnitt verliert, daß aber der Geschwindigkeitsregulator schlechterdings nicht imstande ist, die Turbine zu schließen. Wenn eine Turbine in diesem Zustande plötzlich entlastet wird,

so muß sie durchgehen, obgleich der Regulator vollständig intakt ist und mit aller Kraft ihre Schließung anstrebt. Der Umstand, daß die Beschaffenheit des Betriebsmittels der Wasserturbinen sich der genauen Kontrolle entzieht, hat also zur Folge, daß Wasserturbinen im allgemeinen als durchgangsgefährliche Maschinen betrachtet werden müssen. Die einfachste Schutzmaßregel gegen Durchgangskatastrophen liegt nun darin, daß man die rotierenden Teile von vornherein für die Schleuderdrehzahl, d. h. „schleudersicher" baut. Die Turbinenfirmen verfahren auch tatsächlich immer nach diesem Grundsatz, und ebenso im allgemeinen auch die Konstrukteure der mit Wasserturbinen direkt gekuppelten Energieverbraucher. Man bringt sogar meistens beim Abnahmeversuch von Turbinenanlagen die Turbinen samt den von ihnen angetriebenen Maschinen absichtlich zum Schleudern, um ihre Schleudersicherheit zu prüfen.

Eine außerordentlich wichtige Gruppe der Energieverbraucher in Wasserkraftanlagen sind die Elektrogeneratoren. Die Schleudersicherheit läßt sich hier durch konstruktive Maßnahmen wohl in der Mehrzahl der Fälle erreichen, aber nicht in allen. In Wasserturbinenaggregaten mit großer Leistung und hoher Umdrehungszahl nähern sich die Generatorformen den sogenannten Turbogeneratoren der Dampfturbinenaggregate. Diese sind schon bei normaler Drehzahl durch Zentrifugalkraft hoch beansprucht und würden bei einer 80 bis 85prozentigen Schleuderung unweigerlich auseinanderfliegen. In diesen Fällen muß nun der Turbinenkonstrukteur die Turbine mit einem Sicherheitsapparat ausrüsten, welcher die Durchgangsgefahr so weit vermindert, daß den berechtigten An-

sprüchen an Gefahrlosigkeit des Betriebes Genüge geleistet wird. Es gibt für diesen Zweck vier verschiedene Sicherheitsapparate, die hier nur kurz aufgezählt werden sollen. Sie haben bis jetzt noch keine besondere Wichtigkeit erlangt und es liegen auch noch nicht viel Erfahrungen über sie und auch nur wenige Ausführungsbeispiele vor. Da aber die natürliche Entwicklung von Turbinenbau und Elektrotechnik immer mehr zur Verwendung hoher Umdrehungszahlen bei großen Leistungen drängt, so werden sie im Laufe der Zeit voraussichtlich an Bedeutung gewinnen.

Die Grundgedanken der vier Vorrichtungen sind:

1. Ablenken des arbeitenden Wasserstrahls bzw. der arbeitenden Wasserstrahlen irgendwie seitlich am Laufrad vorbei durch einen besonderen, vom Geschwindigkeitsregulator vollständig getrennten Mechanismus, der durch ein möglichst einfach konstruiertes Zentrifugalpendel bei abnormaler Drehzahlsteigerung in Tätigkeit gesetzt wird. Die Drehzahlsteigerung, für welche die Sicherung einzustellen ist, richtet sich nach dem normalen Drehzahlausschlag $z_e + y_e$ bei einer plötzlichen Totalentlastung (vgl. S. 126). Sie muß diesen Wert noch um einige Prozente übersteigen und liegt also zwischen 10 und 20 %.
2. Anordnung einer Bremsdüse, welche bei abnormaler Drehzahlsteigerung einen kräftig bremsenden Wasserstrahl auf die Rücken der rotierenden Laufradschaufeln oder eventuell auch auf den arbeitenden Wasserstrahl selbst einwirft.
3. Anordnung einer Bremsturbine auf der Welle der Hauptturbine. Die Abmessungen der Brems-

turbine — gegenläufiges Peltonrad mit Düse — richten sich nach Leistung, Gefälle und Umdrehungszahl der Hauptturbine. Die Laufradschaufeln des Bremsrades bewegen sich dem bei abnormaler Drehzahlsteigerung der Bremsdüse entströmenden Wasserstrahl mit großer Geschwindigkeit entgegen, wodurch eine starke Bremswirkung erzielt wird.

4. Selbsttätige Schnellschlußvorrichtung, welche die Druckrohrleitung am unteren Ende mit einer Schließzeit gleich der des Geschwindigkeitsregulators absperrt, eventuell verbunden mi einer Rohrdruckregulierung durch Nebenauslaß, falls der Wasserstoß beim Schließen eine gefährliche Stärke erreichen würde. Betätigung wie oben mittels Zentrifugalpendels. Dichter Abschluß der Absperrvorrichtung ist nicht erforderlich; dieselbe läßt sich daher sehr einfach konstruieren.

Von den obigen vier Vorrichtungen ist im speziellen Fall nach Vergleich der Preise eine auszuwählen und in die Turbine einzubauen. Eine absolute Durchgangsicherheit ist dann zwar durchaus nicht vorhanden, aber doch wenigstens eine solche, daß den Erbauer der Zentrale keine Verantwortung trifft, wenn trotzdem aus irgendeinem Grunde eine Durchgangskatastrophe eintritt.

Für die Konstruktion der rotierenden Teile in durchgangsicheren Zentralen kann der Ausbau auf Schleudersicherheit wegfallen; der Ausbau für den maximalen Drehzahlausschlag bei einer normal verlaufenden Totalentlastung ist aber trotzdem er-

forderlich. Je nach der Sachlage ist daher auch hier noch eine bis zu 20prozentige Drehzahlsteigerung zu berücksichtigen.

Für die Bemessung der rotierenden Teile in Anlagen ohne Durchgangsicherung läßt man sich zweckmäßig die Schleuderdrehzahl von Fall zu Fall vom Turbinenlieferanten unter Garantie für Nichtüberschreitung angeben, da in der Schleuderdrehzahl je nach der Turbinenart geringe Abweichungen von den eingangs angegebenen Werten auftreten können.

In dem Durchgehen der Wasserturbinen von elektrischen Zentralen liegt eine häufig übersehene Gefahr für die Elektromotoren im Stromverteilungsnetze. Die meisten Elektromotortypen machen nämlich infolge ihrer Abhängigkeit von der Zentrale in elektrischer Hinsicht Drehzahlsteigerungen der Generatoren in der Zentrale mit und gehen also, wenn diese durchgehen, ebenfalls durch. Wenn nun auch im Fall einer Durchgangskatastrophe das Netz im allgemeinen von der Zentrale abgeschaltet ist, so kann es doch vorkommen, daß noch einige Motoren am durchgehenden Generator hängen und von diesem durch elektrische Fernwirkung mitgerissen werden. Wenn diese Motoren nun nicht schleudersicher gebaut sind, so werden sie beim Durchgehen beschädigt. Elektromotoren für Stromverteilungsnetze durchgangsgefährlicher Wasserkraftzentralen sollten also entweder wie die Generatoren schleudersicher gebaut oder mit sogenannten Fliehkraftschaltern (Zentrifugalsicherungen) versehen werden, welche mittels roher Zentrifugalpendel die Elektromotoren bei einer bestimmten Drehzahlsteigerung selbsttätig vom Netz abtrennen. Für die Stromentnahme aus dem Netz einer durchgangsicheren Zentrale

müßten die Elektromotoren für etwa 20% Drehzahlsteigerung gebaut werden, damit sie noch eine normal verlaufende Totalentlastung der Zentrale ohne Gefahr mitmachen können. Die Fliehkraftschalter können dafür hier wegfallen.

§ 19. Zubehör der Peltonturbine.

Das Zubehör der Peltonturbine besteht aus den Maschinenteilen zur Übertragung der Turbinenleistung auf andere Triebwerke (Abtrieborgane); ferner kommen eventuell noch hinzu: Meßinstrumente zur Überwachung des Betriebes, Ölfilter zum Reinigen des Regulatoröls, Auslaufbremse zum raschen Stillsetzen der Turbine, nachdem der Leitapparat geschlossen ist, Hebezeuge und Hilfswerkzeuge für die Montage und für Demontage, soweit diese im Betrieb zu Untersuchungen der Turbine notwendig wird, Schlüsselbrett und endlich Ersatzteile für die wichtigsten, der Abnutzung unterworfenen Bestandteile von Turbine und Regulator.

Die Abtrieborgane sind entweder starre oder elastische, je nach der Sachlage ausrückbare oder nicht ausrückbare Kupplungen, oder wenn zwischen Turbine und Antriebsmaschine eine Geschwindigkeitsübersetzung erforderlich ist, Zahnräder, Riemscheiben, Seilscheiben. Die beiden letzteren ermöglichen auch getrennte Aufstellung von Turbine und Antriebsmaschine. Für den Antrieb von Hub-Kolbenluftkompressoren oder Hub-Kolbenwasserpumpen kommt gelegentlich auch das Kurbelgetriebe als Abtrieborgan zur Anwendung. Die Abtrieborgane und ihre Wellen einschließlich der Turbinenwelle sind so kräftig zu dimensionieren, daß eine Erhöhung des Drehmoments auf das Doppelte weder Bruch noch dauernde Deformationen hervorrufen kann.

Eine solche Verdoppelung des Drehmoments tritt ein, wenn die Turbine durch Überlastung festgebremst wird und mit ganz geöffnetem Leitapparat zum Stillstand kommt.

Die Meßinstrumente zur Überwachung des Betriebes sind Tachometer zum Ablesen der Umdrehungszahl und Manometer zum Ablesen des Wasserdrucks unmittelbar vor der Turbine. Manchmal wird auch im Turbinenhaus eine Vorrichtung angebracht, welche den Spiegelgang im Wasserschloß mittels Fernregistrierung im Maschinenhaus aufzeichnet. Am Öldruckregulator ist ein Manometer am Druckwindkessel und zwei Manometer an den beiden Arbeitsräumen des Servomotorzylinders anzubringen. Am Tachometer ist die normale Umdrehungszahl, am Wasserdruckmanometer der normale hydrostatische Druck bei ruhendem Wasser und am Windkesselmanometer der normale Öldruck durch roten Strich zu markieren.

Die Auslaufbremse ist nur dort notwendig, wo man nach Abstellen der Turbine aus irgendeinem Grunde nicht warten kann, bis der rotierende Komplex von selbst zur Ruhe kommt. Die Auslaufzeit ist für Drehstromaggregate infolge der großen Schwungmassen der Rotoren besonders groß; doch läßt sich hier im allgemeinen der größte Teil der in den rotierenden Massen enthaltenen lebendigen Kraft auf elektrischem Wege vernichten, so daß die Auslaufbremse nur noch das rotierende Massensystem von etwa $^1/_5$ der normalen Drehzahl auf Null herunterbringen muß. Wo eine der im vorigen Paragraphen erwähnten, auf Bremsung beruhenden Durchgangssicherungen vorhanden ist, verwendet man diese gleich-

zeitig zur Auslaufbremsung. In den meisten Fällen läßt sich übrigens die Auslaufbremse ganz entbehren.

Je nach der Entfernung des Aufstellungsortes von der Werkstätte muß man eine Wasserturbine mehr oder weniger reichlich mit Ersatzteilen für die der unvermeidlichen Abnutzung unterworfenen Maschinenteile ausrüsten. An Ersatzteilen für Peltonturbinen hält man gewöhnlich auf Lager: einige Laufschaufeln, Lagerschalen für die Hauptlager, eine Regulierdüse, ein Steuerventil zum Geschwindigkeitsregulator, eine Ölpumpe, Antriebsteile für Pendel und Ölpumpe und weitere kleinere Teile von Geschwindigkeits- bzw. Rohrdruckregulator. Damit der spätere Einbau der Reserveteile ohne Schwierigkeiten möglich ist, müssen die sämtlichen Maschinenteile von vornherein nach Lehren bearbeitet werden, so daß alle Ersatzteile mit den entsprechenden Teilen der Turbine vertauscht werden können. Auch soll eine Turbinenfirma imstande sein, für jedes beliebige Stück der Turbine nachträglich ein unbedingt sicher passendes Ersatzstück anzufertigen. Die Notwendigkeit hierfür kann sich leicht ergeben, wenn z. B. ein Teil einer Überseelieferung durch Untergang eines Dampfers verloren geht oder sonst irgendwie abhanden kommt.

§ 20. Das Anwendungsgebiet der Peltonturbine und ihr Verhalten innerhalb desselben.

Es ist für den projektierenden Ingenieur von großer Wichtigkeit, rasch entscheiden zu können, ob für ein gegebenes Projekt eine Peltonturbine in Frage kommen kann oder nicht. Ein Mittel, um dies festzustellen, ergibt sich aus folgender Überlegung.

Wie aus den Gl. (30) und (32) (S. 70 und 71) ersichtlich

ist, stellen die Werte Q, H und n die Bestimmungselemente für die Dimensionierung der Peltonturbinen dar. Q und H legen den Strahldurchmesser d_1 und damit auch im großen ganzen die Schaufelabmessungen fest. n und H dagegen bestimmen unabhängig davon die Größe des Strahlkreisdurchmessers D_1. Der Durchmesser d_1 ist also für eine gegebene Wasserkraft (Q, H) ein Fixwert, während D_1 ganz von der Wahl von n abhängt und mit n variiert. Das Größenverhältnis von d_1 zu D_1 kann je nach der Wahl von n ganz beliebige Werte annehmen, und man erkennt sofort, daß die zwei denkbaren extremen Fälle: 1) D_1 wird gleich oder kleiner als der Fixwert d_1 und 2) D_1 wird so groß, daß der Fixwert d_1 im Vergleich damit verschwindend klein ist, zu konstruktiv unmöglichen Turbinen führen. Wenn man nun auch nicht bis an diese extremen unausführbaren Fälle herangeht und innerhalb praktisch ausführbarer Konstruktionen bleibt, so ist doch einleuchtend, daß der Wirkungsgrad der Turbinen um so schlechter werden muß, je mehr man sich diesen Grenzfällen nähert; denn je kleiner D_1 gegen d_1 (Fig. 104 oben), um so stärker weichen die Arbeitsverhältnisse, welche die rotierenden Schaufeln dem Strahl darbieten, von den idealen Verhältnissen (axialer Durchfluß auf dem Zylinderschnitt durch Kreis D_1) ab, und je größer D_1 gegenüber d_1 (Fig. 104 unten), um so länger wird die vom Wasserstrahl frei

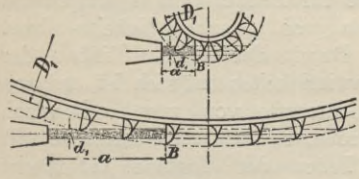

Fig. 104.

in der Luft unter Überwindung des Luftwiderstandes zurückzulegende Strecke a von der Düsenmündung bis zur Hauptarbeitsstelle B. Beide Umstände verursachen Energieverluste, und wenn diese Verluste innerhalb der praktisch zulässigen Grenzen bleiben sollen, so muß man sorgen, daß das Verhältnis $\frac{d_1}{D_1}$ weder zu groß noch zu klein wird. Man bezeichnet dieses Verhältnis mit $\mathfrak{d}_1$:

$$\mathfrak{d}_1 = \frac{d_1}{D_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

Die Praxis hat gezeigt, daß man, wenn man noch einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 75% erzielen will, $\mathfrak{d}_1$ nicht über $\frac{1}{9{,}4}$ steigern und nicht unter $\frac{1}{165}$ sinken lassen darf. Man müßte demnach in jedem einzelnen Falle zuerst d_1 und D_1 und dann $\mathfrak{d}_1$ ausrechnen und nachsehen, ob der sich ergebende Wert $\mathfrak{d}_1$ innerhalb des brauchbaren Gebietes liegt. Für $\mathfrak{d}_1$ läßt sich nun aber mit Hilfe der Gl. (30) und (32) (S. 70 und 71) noch folgender Ausdruck anschreiben:

$$\mathfrak{d}_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi\sqrt{2g}}} \cdot \sqrt{\frac{Q}{c_1\sqrt{H}}} \cdot \frac{\pi}{60\sqrt{2g}} \cdot \frac{n}{u_1\sqrt{H}}$$

$$= \frac{1}{157{,}79\, u_1 \sqrt{c_1}} \cdot n \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}},$$

woraus mit $c_1 = 0{,}95$ und mit der Abkürzung

$$S = n \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

sich einerseits ergibt

$$\mathfrak{d}_1 = \frac{S}{153{,}79\, u_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (46)$$

und andererseits

$$S = 153{,}79\, u_1 \mathfrak{d}_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (47)$$

In den Gl. (46) und (47) ist der zwischen $\mathfrak{d}_1$ und (QHn) bestehende innere Zusammenhang algebraisch ausgedrückt. Aus Gl. 46 folgt die wichtige Tatsache, daß man, um $\mathfrak{d}_1$ zu bestimmen, durchaus nicht die Werte d_1 und D_1 selbst, sondern nur die in Gl. (45) gegebene Funktion S aus Q, H und n zu berechnen und in die Gl. (46) einzusetzen braucht. Aber auch dieses letztere ist nicht einmal notwendig, denn nach Gl. (47) müssen den oben erwähnten Grenzwerten von $\mathfrak{d}_1$ bestimmte Grenzwerte von S entsprechen, welche von einem Peltonstrahl niemals überschritten werden können und welche man erhält, wenn man für $\mathfrak{d}_1$ und u_1 einmal die Maximalwerte und einmal die Minimalwerte in die rechte Seite von Gl. (47) einsetzt. Die Grenzwerte für u_1 hängen vom Arbeitsprozeß des Wassers ab. In Freistrahlturbinen darf u_1, wenn man noch einen brauchbaren Arbeitsprozeß erzielen will, nicht größer als 0,49 und nicht kleiner als 0,43 werden. Mit den Grenzwerten für u_1 und $\mathfrak{d}_1$ ergeben sich nun für die Grenzen des einfachen Peltonstrahls die speziellen Werte:

$$S_1^{max} = 153{,}79 \cdot 0{,}49\, \frac{1}{9{,}4} \cong 8$$

und

$$S_1^{min} = 153{,}79 \cdot 0{,}43\, \frac{1}{165} \cong 0{,}4,$$

innerhalb deren alle einfachen Peltonstrahlen liegen

müssen. Die Funktion S ist demnach die entscheidende Größe (Diskriminante) für die Anwendbarkeit der Einstrahlpeltonturbine; man nennt sie daher die Systemziffer und hat nunmehr in einem gegebenen Fall weiter nichts zu tun, als aus den Daten Q, H und n die Systemziffer zu berechnen und zu kontrollieren, ob dieselbe zwischen 0,4 und 8 liegt. Ist dies der Fall, so ist eine Einstrahlpeltonturbine möglich, andernfalls nicht. Durch diese Regel ist das Anwendungsgebiet der Einstrahlpeltonturbine festgelegt. Für Zweistrahlpeltonturbinen an der unteren Grenze muß für jeden Strahl in Anbetracht seiner Wasserführung $\frac{Q}{2}$ die Gleichung gelten:

$$\frac{n\sqrt{\frac{Q}{2}}}{\sqrt[4]{H^3}} = S_1^{min} = 0{,}4,$$

somit muß die mit der vollen Wassermenge berechnete Systemziffer einer Zweistrahlturbine an der unteren Grenze (S_2^{min}) den Wert haben:

$$S_2^{min} = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} = \sqrt{2} \cdot S_1^{min} = \sqrt{2} \cdot 0{,}4.$$

Analog folgt für die obere Grenze S_2^{max} der Zweistrahlturbine

$$S_2^{max} = \sqrt{2} \cdot S_1^{max} = \sqrt{2} \cdot 8.$$

Die Grenzsystemziffern der Peltonturbinen mit 2, 3, 4 . . . Strahlen ergeben sich demnach einfach durch Multiplikation der Grenzsystemziffern der Einstrahl-

peltonturbine mit $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{4}$ .... Die Turbinen an der unteren Grenzlage sind charakterisiert durch kleines b_1, d. h. sie sind „relativ schwachstrahlig" (kleine Strahlabmessungen im Verhältnis zur Radgröße); die obere Grenze hat großes b_1 und wird charakterisiert durch die Bezeichnung „relativ starkstrahlig" (große Strahlabmessungen im Verhältnis zur Radgröße).

Der vorstehenden Untersuchung liegt der runde Strahl der Nadeldüse zugrunde. Die Ergebnisse ändern

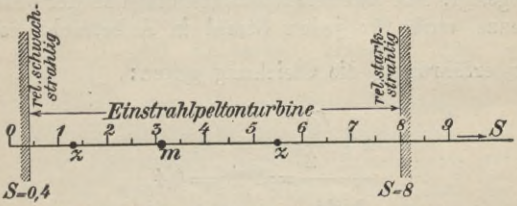

Fig. 105. Systemstrecke der Einstrahlpeltonturbine mit gewöhnlicher Skala für S.

sich jedoch für Peltonturbinen mit dem quadratischen oder quadratähnlichen Strahl von Düsen mit Zungenregulierung, Flachschieberregulierung usw. nicht und können daher als allgemein gültig betrachtet werden.

Zeichnet man sich für die Systemziffer S eine Skala auf und schneidet auf derselben den Abschnitt zwischen $S = 0{,}4$ und $S = 8$ heraus (Fig. 105), so hat man in diesem Skalenabschnitt eine konkrete Darstellung des Verwendungsgebietes der Einstrahlpeltonturbine. Man nennt diesen Skalenabschnitt die „Systemstrecke" der Einstrahlpeltonturbine. Die Grenzen der Systemstrecke führen, wie schon erwähnt, auf Maschinen mit gerade noch annehmbaren hydrau-

lischen Verhältnissen und mit einem Gesamtwirkungsgrad von etwa $75\,\%$. Rückt man von den beiden Grenzen je gegen das Innere der Systemstrecke vor, so verbessern sich die hydraulischen Verhältnisse der Turbine; der Wirkungsgrad wächst dementsprechend, und an einer bestimmten Stelle m, die in der Fig. 105 durch einen großen Punkt bezeichnet ist, erreicht der Wirkungsgrad ein Maximum mit etwa $83\,\%$. Um das Anwachsen des Wirkungsgrades von den Grenzen gegen den großen Punkt hin auf der Systemstrecke noch etwas näher zu kennzeichnen, markiert man noch die Stellen, an welchen der Wirkungsgrad den Wert $79\,\%$ durchschreitet, mit Zwischenpunkten z und hat dadurch einen ungefähren Anhalt über den Verlauf des Wirkungsgrades im Systembereich. Einen genaueren Anhalt kann man sich aber dadurch verschaffen, daß man über der Systemstrecke als Basis eine Kurve η des Wirkungsgrades verzeichnet (Fig. 106). Über derselben Basis kann man nun aber auch den Verlauf einer Reihe von anderen Größen innerhalb des Systembereichs darstellen. Für die Umfangschnelligkeit u_1 z. B. hat man an der unteren Grenze den Wert 0,43 und an der oberen Grenze den Wert 0,49. Zwischen diesen beiden muß längs der Systemstrecke ein Übergang stattfinden, und es ist zweckmäßig, sich durch Festlegung einer Übergangskurve u_1 (Fig. 106) ein für allemal eine Regel für die Wahl von u_1 aufzustellen. Damit kann man nun ferner nach Gl. (46) (S. 148) eine Kurve für das Durchmesserverhältnis $\mathfrak{d}_1$ ausrechnen und über der Systemstrecke verzeichnen. Man erhält so ein in Fig. 106 schematisch dargestelltes Diagramm, aus welchem man nach Bestimmung von S für ein gegebenes Projekt (Q, H, n) u_1 und $\mathfrak{d}_1$ entnehmen

und damit D_1 und d_1 nach Gl. (30) und (44) vorläufig berechnen kann. Man nennt dieses Diagramm das Dimensionierungsdiagramm der Peltonturbine. Da ausschließlich die Systemziffer S das Verhältnis δ_1 und damit die Struktur der Turbine bestimmt, so bezeichnet man S auch als das auf die Struktur der Turbine wirksame Moment aus Q, H und n. In das

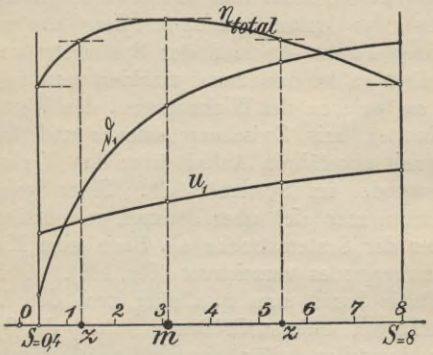

Fig. 106. Dimensionierungsdiagramm der Einstrahlpeltonturbine mit gewöhnlicher Skala für S.

Dimensionierungsdiagramm kann man noch andere, die Abmessungen der Schaufeln betreffende Größen in Form von Kurven eintragen. Man darf aber das Dimensionierungsdiagramm nur für die vorläufige Dimensionierung während der Projektierung benutzen; für die Werkstattausführung müssen die Dimensionen nach den maßgebenden Formeln unter Abschätzung der veränderlichen Koeffizienten für den gerade vorliegenden Fall, berechnet werden. Bezüglich des Wirkungsgradverlaufs ist noch zu bemerken, daß die

Diagrammkurve η_{total} keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit machen kann, weil bis jetzt noch wenig vergleichende Versuchsresultate über den Zusammenhang zwischen Systemziffer und Wirkungsgrad bekannt geworden sind. Es ist daher nicht ausgeschlossen, daß sich hierin und auch in den Grenzen der Systemstrecke im Laufe der Zeit mit der fortschreitenden Erkenntnis geringe Änderungen ergeben.

Ein Diagramm in der Art wie Fig. 106 müßte man nun auch für die zwei-, drei- und vierstrahlige Turbine entwerfen, weil die Systemstrecke für die Unterarten jeweils eine andere Länge hat. Man kann dies jedoch dadurch umgehen, daß man für die Systemziffer S nicht wie bis jetzt eine gewöhnliche Skala, sondern eine logarithmische Skala anwendet. Die Systemstrecke der Einstrahlpeltonturbine, herausgeschnitten aus einer logarithmischen Basis S, ist $\log 8 - \log 0{,}4$; während die Systemstrecke der Zweistrahlpeltonturbine sich ergibt zu:

$$\log(8\sqrt{2}) - \log(0{,}4\sqrt{2}) = \log 8 + \log\sqrt{2} - \log 0{,}4 - \log\sqrt{2} = \log 8 - \log 0{,}4,$$

d. h. genau gleich wie für die Einstrahlturbine. Für alle übrigen Mehrstrahlturbinen gilt das gleiche und man kann, nachdem man das Dimensionierungsdiagramm der Einstrahlturbine für logarithmische Basis umgerechnet und umgezeichnet hat (Fig. 107)[1]), dasselbe auch ohne weiteres für die Mehrstrahlturbinen verwenden, wobei man sich die Arbeit in folgender

[1]) Ein in größerem Maßstabe maßstäblich aufgezeichnetes Dimensionierungsdiagramm ist in einer Broschüre des Verfassers über Wasserkraftprojektierung, die im Literaturverzeichnis aufgeführt ist, enthalten.

Weise sehr vereinfachen kann. Man zeichnet über der logarithmischen Skala S horizontale Linienzüge, welche der Länge und Lage nach die Systemstrecken der Ein- und Mehrstrahlpeltonturbinen darstellen

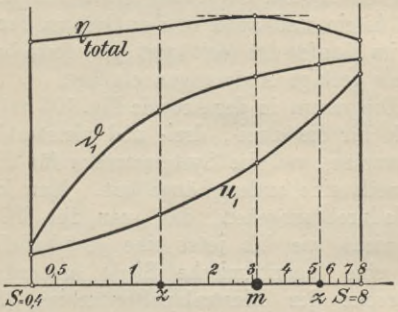

Fig. 107. Dimensionierungsdiagramm der Peltonturbine mit logarithmischer Basis.

(Fig. 108). Die so entstehende Figur nennt man das Systembild der Peltonturbine. Auf den unter sich gleich langen Linienzügen markiert man wieder die das Wirkungsgradmaximum anzeigenden großen Punkte

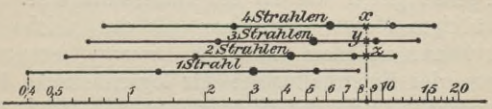

Fig. 108. Systembild der Peltonturbine.

und die dem Wirkungsgrad 79 % entsprechenden Zwischenpunkte. Für alle diese Systemstrecken gilt nun ein und dasselbe Dimensionierungsdiagramm (Fig. 107), dessen Basis in Beziehung auf ihre Länge

und auf die Lage der Wirkungsgradpunkte mit den Systemstrecken der Fig. 108 vollständig übereinstimmt. Wenn es sich also jetzt z. B. darum handelt, für ein gegebenes Projekt (Q, H, n) eine Vierstrahlpeltonturbine zu bauen, so sucht man den aus Q, H und n berechneten Wert S auf der Skala des Systembildes auf, errichtet dort eine Senkrechte, überträgt den Schnittpunkt x dieser Senkrechten mit der Systemstrecke der Vierstrahlturbine auf die Basis des Dimensionierungsdiagramms und entnimmt zu dem dort gefundenen Basispunkt die Werte u_1, $\mathfrak{d}_1$ und kann damit die ungefähren Abmessungen der Laufräder und Strahlen der projektierten Turbine bestimmen. Gleichzeitig zeigt das Systembild in der Lage der Schnittpunkte y und z gegenüber den Wirkungsgradpunkten der zugehörigen Systemstrecken, wie sich die hydraulischen Verhältnisse der Dreistrahl- und Zweistrahlturbine in dem vorliegenden Falle gestalten würden. Die örtliche Lage einer Turbine auf ihrer Systemstrecke nennt man ihre Systemlage.

Das Systembild ist in Fig. 108 bis zur Vierstrahlturbine gezeichnet. Man könnte es natürlich noch beliebig weiter fortsetzen, doch sind Peltonturbinen mit mehr als vier Strahlen einerseits ihrer Kompliziertheit halber nicht empfehlenswert, und andererseits treten an ihre Stelle, wie sich später zeigen wird, andere geeignetere Turbinenformen. Das Systembild (Fig. 108) stellt also das ganze übliche Anwendungsgebiet der Peltonturbine dar und gibt in einfachster Weise Aufschluß über die Anwendbarkeit der Peltonturbine und ihrer Unterarten in einem gegebenen Falle. Das Dimensionierungsdiagramm (Fig. 107) ermöglicht ferner die vorläufige Dimensionierung der Peltonturbine

und veranschaulicht das Verhalten der Peltonturbine innerhalb ihres Verwendungsgebietes.

Zum Schlusse der Betrachtung über die Peltonturbine sei noch bemerkt, daß das Wort „Pelton“ in Deutschland unter Wortschutz steht. Inhaber dieses Wortschutzes ist die Firma H. Breuer & Co. in Höchst am Main. Alle übrigen Turbinenfirmen dürfen das Wort „Pelton“ nicht zur Bezeichnung ihrer Peltonturbinen verwenden und helfen sich mit Ausdrücken wie Hochdruckfreistrahlturbine, Rundstrahlturbine, Strahlradmotor u. dgl.

---

4. Kapitel.

Die Schwamkrugturbine.

Die Schwamkrugturbine hat eine Zeitlang im Turbinenbau eine große Rolle gespielt; sie ist jedoch im letzten Jahrzehnt vollständig und mit Recht von der Turbinenindustrie aufgegeben worden. Immerhin bestehen noch eine große Anzahl von hydraulischen Anlagen, in welchen Schwamkrugturbinen arbeiten. Nur um das Verständnis dieser vorhandenen Schwamkrugturbinen zu vermitteln und um die Gründe klarzulegen, warum heute Schwamkrugturbinen nicht mehr gebaut werden, sei hier kurz auf Arbeitsprozeß, Dimensionierung und Systembereich dieser Turbinenart eingegangen.

§ 21. Der Arbeitsprozeß der Schwamkrugturbine.

Die Schwamkrugturbine (Fig. 109 und 110) ist in ihrer einfachsten Form eine innere Freistrahlturbine

mit einer einzigen Leitzelle (vgl. S. 36). Aus dieser Leitzelle entströmt genau wie aus der Düse der Peltonturbine ein freier Wasserstrahl, welcher aber dem Eintrittsdurchmesser D_1 nicht wie in der Peltonturbine tangential, sondern wie in der axialen Freistrahlturbine unter einem bestimmten Winkel α_1 gegen die Umfangstangente zugeführt wird. Der am Laufradeintritt sich abspielende Vorgang entspricht vollständig dem auf S. 48 an Hand des Eintrittsdreiecks erörterten Übergang des Wassers vom Leitapparat zum Laufrad der axialen Turbine. Die Kombination von Freistrahlschnelle c_1 und Umfangschnelle u_1 ergibt eine bestimmte relative Eintrittschnelle w_1, welche infolge des Stoßverlustes an den materiellen Schaufelspitzen des Laufrades auf den etwas geringeren Wert w_1' sinkt. Zur Untersuchung des weiteren Verlaufs des Arbeitsprozesses führt man den in Fig. 110 herausgezeichneten Schnitt a—a durch die Laufradmitte und erhält damit den Schaufelplan der Schwamkrugturbine. Von dem Schaufelplan der axialen Freistrahlturbine unterscheidet sich dieser wesentlich dadurch, daß in letzterem konstante Umfangsgeschwindigkeit herrschte, während nunmehr die Umfangschnelligkeit von innen nach außen entsprechend der Zunahme des Durchmessers D_1 auf den Wert D_2 von u_1 auf einen größeren Wert u_2 anwächst. Dieser Umstand bewirkt nach früherem (S. 28) eine wattlose Beschleunigung der Relativschnelle w_1' auf einen größeren Endwert w_2. Die Forderung der

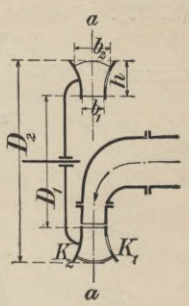

Fig. 109.
Schwamkrugturbine mit einem Einlauf.

Konstanz des Energiesprungs zwischen Wasser und Bahn ergibt bei reibungsloser Bahn nach Gl. (11) (S. 29):

$$(w_2^2 - u_2^2) = (w_1'^2 - u_1^2), \quad . \quad . \quad (48)$$

daraus die Gleichung für w_2:

$$w_2^2 = w_1'^2 + u_2^2 - u_1^2$$

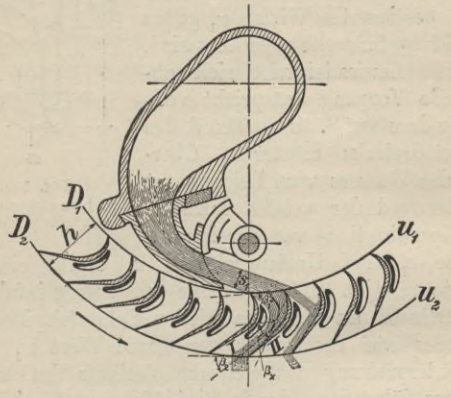

Fig. 110. Schaufelschnitt der Schwamkrugturbine.

Mit Rücksicht auf den Energieverlust w_v^2 längs der Laufschaufel (vgl. S. 51) ist diese Gleichung wie folgt zu korrigieren:

$$w_2^2 = w_1'^2 + u_2^2 - u_1^2 - w_v^2 \quad . \quad (49)$$

Für eine beliebige Zwischenstelle im Laufkanal ergibt sich die augenblickliche Relativschnelle zu:

$$w_x^2 = w_1'^2 + u_x^2 - u_1^2 - w_{vx}^2$$

Die Relativschnelle wächst also im Schwamkruglaufrad vom Wert w_1' über w_x auf w_2 an. Diese

Schnelligkeiten $w_1' \ldots w_x \ldots w_2$ sind nun durch geeigneten Winkelübergang der Kanalachse von β_1' über β_x auf β_2 in solche Richtungen zu verlegen, daß sie, wenn sie mit den zugehörigen Umfangschnelligkeiten $u_1 \ldots u_x \ldots u_2$ zusammengesetzt werden (Fig. 111) eine stetige Abnahme des absoluten Energiegrades des Wassers von ${c_1}^2$ über ${c_x}^2$ auf ${c_2}^2$ (Austrittsverlust) und damit eine gleichmäßig verteilte Arbeit des Wassers im Laufrad erzwingen, ähnlich wie dies früher (Axial-

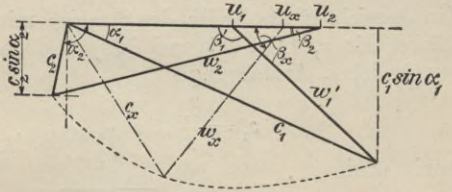

Fig. 111. Schnelligkeitsdiagramm der Schwamkrugturbine.

turbine, S. 55) erörtert worden ist. Zu beachten ist, daß die auch hier zu fordernden neutralen Schaufelstrecken am Ein- und Austritt (geradlinige Absolutbahn mit konstanter Absolutgeschwindigkeit) hier nicht wie in der Axialturbine geradlinig verlaufen, sondern nach einer archimedischen Spirale gekrümmt sind.

Die Gl. (49) läßt sich in mannigfacher Weise graphisch lösen, doch führt die reine Rechnung ebenso rasch zum Ziel.

§ 22. Dimensionierung und konstruktive Ausführung der Schwamkrugturbine.

Für den Eintrittsdurchmesser D_1 hat man wieder dieselbe Gleichung wie früher:

$$D_1 = \frac{60\sqrt{2g}}{\pi} \cdot u_1 \frac{\sqrt{H}}{n} \quad . \quad . \quad , \quad (50)$$

worin u_1 wie bei der Peltonturbine zwischen 0,43 und 0,49 schwankt. Ferner bestimmt sich der Querschnitt des Wasserstrahls, welcher hier durchweg rechteckige Form hat, wieder aus

$$f_{strahl} = \frac{Q}{c_1 \sqrt{2gH}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (51)$$

Man bezeichnet die Breite des Strahles mit b_1 und die Stärke mit s_1 (Fig. 109 und 110) und macht in der gewöhnlichen Ausführung

$$s_1 = \frac{b_1}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (52)$$

Damit wird

$$b_1 = \sqrt{2 f_{strahl}} = \sqrt{\frac{2Q}{c_1 \sqrt{2gH}}} \quad . \quad (53)$$

Die Strahlabmessungen bestimmen wieder einerseits die Düsenlichtweiten b_0 und s_0 und andererseits die Schaufeldimensionen. Die lichte Breite der Düse wird gleich b_1 gemacht, da der Strahl in der Breite so gut wie keine Kontraktion erleidet. In der anderen Strahldimension ist dagegen starke Kontraktion zu berücksichtigen und es muß daher die lichte Weite der Düse etwas größer als s_1 gemacht werden.

Die Schaufelbreite am Eintrittskreis D_1 macht man in der Ausführung um etwa 5% größer als b_1, um zu verhindern, daß bei etwaigen Ungenauigkeiten der Werkstattausführung der Wasserstrahl auf den einen oder andern Schaufelkranz aufschlägt. Die äußere Breite b_2 der Schwamkrugschaufel bestimmt sich nach fol-

genden Gesichtspunkten. Die Laufradkanäle werden, wie Fig. 112 zeigt, jeweils durch die Vorderfläche einer Schaufel und durch die Rückfläche der vorhergehenden Schaufel gebildet. In den durch diese Flächen und durch die Laufradkränze K_1 und K_2 (Fig. 109) begrenzten Hohlraum tritt das Wasser mit der radialen Schnelligkeitskomponente $c_1 \sin \alpha_1$ (Fig. 112) ein. Der normal zu dieser Schnelligkeitskomponente liegende wasserbenetzte Querschnitt hat die Breite b_1 und die Länge t_1 (Schaufelteilung am Kreis D_1). Die in den betrachteten Laufradkanal eintretende Wassermenge beträgt demnach $b_1 t_1 C_1 \sin \alpha_1$ m³/sek. Am Austritt aus dem Laufradkanal besitzt das Wasser die aus dem Schnelligkeitsdiagramm (Fig. 111) zu entnehmende radiale Schnelligkeitskomponente $c_2 \sin \alpha_2$ und die normal dazu stehende Austrittsfläche des Kanals ist, wenn man die Schaufeldicken am Austritt zunächst vernachlässigt: $b_2 \cdot t_2$, wobei t_2 die Schaufelteilung am Austrittskreis D_2 darstellt. Es müßte nun, wenn dieser Austrittsquerschnitt ebenso vollständig mit Wasser benetzt wäre wie der Eintrittsquerschnitt, auf Grund der Kontinuität des Wasserdurchflusses die Gleichung bestehen:

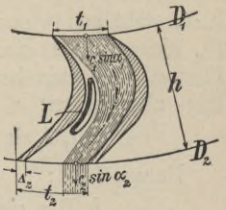

Fig. 112. Laufradkanal der Schwamkrugturbine.

$$b_1 t_1 C_1 \sin \alpha_1 = b_2 t_2 C_2 \sin \alpha_2,$$

woraus b_2 zu bestimmen wäre. Allein die hier vorausgesetzte vollständige Ausfüllung des Laufkanals mit strömendem Wasser ist für Freistrahlturbinen wegen

der damit verbundenen großen Reibungsverluste nicht zulässig. Man muß vielmehr sorgen, daß der Wasserstrahl unmittelbar nach seinem Eintritt in den Laufkanal sich von der Rückschaufel loslöst (Fig. 110 und 112) und daß weiterhin zwischen Strahl und Rückschaufel ein angemessener Luftzwischenraum bestehen bleibt, so daß also wenigstens die Reibung des Wassers an der Rückschaufel und der damit verbundene Energieverlust vermieden wird. Von dem Austrittsquerschnitt $b_2 \cdot t_2$ steht somit nur ein bestimmter Bruchteil $k_2 b_2 t_2$ (k_2 kleiner als 1) dem eingetretenen Wasser zur Verfügung, und man hat daher die obige Gleichung wie folgt abzuändern:

$$b_1 t_1 C_1 \sin \alpha_1 = k_2 b_2 t_2 C_2 \sin \alpha_2.$$

Daraus folgt:

$$b_1 D_1 c_1 \sin \alpha_1 = k_2 b_2 D_2 c_2 \sin \alpha_2$$

und mit $D_2 = D_1 + 2h$

$$b_2 = b_1 \frac{c_1 \sin \alpha_1}{k_2 c_2 \sin \alpha_2} \cdot \frac{D_1}{D_1 + 2h} \quad . \quad . \quad (54)$$

In dem Koeffizienten k_2 kommt sowohl die Querschnittsverminderung infolge des Luftzwischenraumes zwischen Strahl und Rückschaufel, als auch die Querschnittsverminderung infolge der endlichen Schaufelstärke Δ_2 (Fig. 112) zum Ausdruck. Für beide zusammen setzt man etwa $30\,\%$ in Rechnung, womit $k_2 = 0{,}70$ wird. Für die Dimension h, deren Kenntnis zum Aufzeichnen des Schnelligkeitsdiagramms wegen u_2 notwendig ist, hat man die Faustregel: $h = 1{,}3\, b_1$, doch ist der genaue Wert von h und D_2 erst beim Aufzeichnen der Schaufelung zu bestimmen. In der Profilierung des Laufradkranzes zwischen Ein- und

Austritt ist für steten Übergang von der Breite b_1 auf die Breite b_2 zu sorgen. Da, wie schon früher erwähnt, jeder freie Wasserstrahl luftsaugend wirkt, so muß, um die Bildung von Vakuum in den Laufkanälen und die damit verbundene Störung des Wasserdurchflusses zu verhindern, jeder Laufkanal mit einer seitlichen Öffnung L (Fig. 110 und 112) versehen sein, durch welche ständig Ersatz für die vom Wasser fortgesaugte Luft eintreten kann.

Das Material des Laufrades ist gewöhnlich Gußeisen. Für höhere Umfangsgeschwindigkeiten werden die Kränze mit schmiedeeisernen Schrumpfringen versehen. Das Laufrad wird häufig fliegend angeordnet. Der Leitapparat wird auch hier wie bei der Peltonturbine zum Regulieren der Geschwindigkeit durch Änderung der Wassermenge benutzt. Die Regulierung erfolgt durch Querschnittsveränderung der Düsenmündung, und zwar gewöhnlich durch einen Schwingschieber, wie Fig. 110 zeigt. Das Gehäuse wird in ähnlicher Weise ausgeführt wie bei der Peltonturbine. Wenn die zu verarbeitende Wassermenge für einen Einlauf zu groß ist, so ordnet man zwei und wenn nötig drei Einläufe an einem Laufrad an und erhält damit die Unterarten der Schwamkrugturbine.

§ 23. Anwendungsgebiet der Schwamkrugturbine.

Man bezeichnet das Verhältnis der Eintrittsbreite b_1 zum Eintrittsdurchmesser D_1 mit $\mathfrak{B}_1$:

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{b_1}{D_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (55)$$

Dieses Verhältnis $\mathfrak{B}_1$ darf, wenn noch praktisch brauchbare Wirkungsgrade erzielt werden sollen, weder

einen bestimmten Wert $\mathfrak{B}_{1\,max}$ überschreiten, noch einen bestimmten Wert $\mathfrak{B}_{1\,min}$ unterschreiten. Für diese Grenzwerte kann man erfahrungsgemäß setzen:

$$\mathfrak{B}_{1\,max} = \frac{1}{7{,}5} \qquad \mathfrak{B}_{1\,min} = \frac{1}{28}$$

Für $\mathfrak{B}_1$ läßt sich nun mit Hilfe von Gl. (50) und (53) folgender Ausdruck aufstellen:

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{b_1}{D_1} = \frac{\sqrt{2Q}}{\sqrt{c_1\sqrt{2gH}}} \cdot \frac{\pi \cdot n}{60\sqrt{2g}\,u_1\sqrt{H}}$$

$$= \frac{1}{125{,}89\,u_1\sqrt{c_1}} \cdot \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$$

Man sieht, daß auch hier wieder die Größe S (Gl. (45), S. 147) auftritt. Mit $c_1 = 0{,}95$ ergibt sich

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{S}{122{,}71\,u_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

und daraus

$$S = 122{,}71\,u_1\mathfrak{B}_1 \quad . \quad . \quad . \quad (57)$$

Durch diese letzte Gleichung ist die Frage nach dem Verwendungsgebiet der Schwamkrugturbine auf die Berechnung der Systemziffer S aus den Werten Q, H, n zurückgeführt, ähnlich wie dies in der Untersuchung über die Peltonturbine (S. 148) geschehen ist. Man erhält nämlich aus Gl. (57) mit den Maximalwerten von u_1 und $\mathfrak{B}_1$

$$u_{1\,max} = 0{,}49 \qquad \mathfrak{B}_{1\,max} = \frac{1}{7{,}5}$$

einen Maximalwert

$$S_{max} = 122{,}71 \cdot 0{,}49\,\frac{1}{7{,}5} \cong 8{,}1\,,$$

welcher nicht überschritten, und mit

$$u_{1\,min} = 0{,}43 \qquad \mathfrak{B}_{1\,min} = \frac{1}{28}$$

einen Minimalwert

$$S_{min} = 122{,}71 \cdot 0{,}43 \frac{1}{28} \simeq 1{,}9,$$

welcher nicht unterschritten werden darf. Man hat also auch hier wieder die Tatsache, daß weder der Wert Q, noch der Wert H, noch der Wert n erkennen lassen, ob eine Schwamkrugturbine in einem gegebenen Falle möglich ist. Es hängt dies vielmehr einzig und allein von dem wirksamen Moment dieser drei Größen, der zusammengesetzten Funktion $n \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$ ab. Ergibt diese Funktion einen Zahlenwert zwischen 8,1 und 1,9, so ist eine eindüsige Schwamkrugturbine möglich, andernfalls nicht. Für Schwamkrugturbinen mit zwei bzw. drei Einläufen sind die obigen Grenzwerte der Systemziffer S mit $\sqrt{2}$ bzw. $\sqrt{3}$ zu multiplizieren.

Ähnlich wie im Peltonsystem läßt sich dieses Resultat zur Aufstellung eines Dimensionierungsdiagramms, welches das Verhalten der Schwamkrugturbine innerhalb des Systembereichs darstellt, verwerten, wobei als Basis wieder eine logarithmische Skala S dient, aus der die Systemstrecke von 1,9 bis 8,1 herausgeschnitten wird. Ferner ergibt sich das Systembild der Schwamkrugturbine (Fig. 113) durch Zusammenstellung der drei Systemstrecken der ein-, zwei- und dreidüsigen Turbine, wobei zu bemerken ist, daß Wirkungsgradpunkte von $83\,^0/_0$, wie sie im Peltonbild (Fig. 108, S. 154) enthalten sind, hier der größeren

hydraulischen Verluste wegen nicht auftreten. Der Grund für die größeren hydraulischen Verluste ist das bereits auf S. 16 (Fig. 46) erwähnte und auch aus Fig. 110 (Kanal II) ersichtliche senkrechte Aufprallen der frei in die Lücke zwischen zwei Schaufeln ohne Ablenkung vordringenden Wasserteilchen.

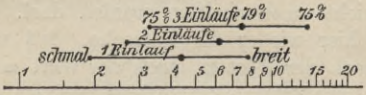

Fig. 113. Systembild der Schwamkrugturbine.

Vergleicht man das Systembild der Schwamkrugturbine mit dem der Peltonturbine (Fig. 108), so sieht man, daß das erstere vollständig im letzteren aufgeht. Man kann also überall dort, wo eine Schwamkrugturbine möglich ist, auch eine Peltonturbine bauen, und die letztere hat in hydraulischer und konstruktiver Hinsicht so viele Vorteile vor der Schwamkrugturbine, daß die eingangs erwähnte Abwendung der heutigen Turbinenindustrie vom Schwamkrugsystem erklärlich und wohlbegründet ist.

BIBLIOTEKA KRAKÓW Politechniczna

Sachregister.

Absolutgeschwindigkeit 24.
Absperrschieber 90.
Arbeitsprozeß, Allgemeines 37.
Arbeitsprozeß der Peltonturbine 60.
Arbeitsprozeß der Schwamkrugturbine 156.
Auslaufbremse 144.
Austrittschiefe 53.
Austrittsverlust 26, 52.
Axialturbine 34, 45.

Beaufschlagung 35.
Bremsregulierung 136.
Bremsturbine 140.
Bruttogefälle 18.

Dimensionierungsdiagramm der Peltonturbine 152, 154.
Doppelpeltonturbine 81.
Doppelzwillingspeltonturbine 83.
Dreilageraggregat 84.
Druckenergie 31.
Druckölregler 107.
Druckrohrleitung 14, 88.
Durchgangsicherung 140.

Effektivgefälle 70.
Eintrittswinkel, absoluter 47.
—, relativer 48.
Energie, disponible 6.
—, kinetische 20.
—, potenzielle 6.
Energiegrad 44.
Energiesprung 29.
Energieverluste, Allgemeines 58.

Francisturbine 34.
Freihängen 46.
Freistrahlschnelle 42.
Freistrahlturbine 37.
Füllungsgrad 115.

Gefälle, natürliches 9.
Geschwindigkeitsregulierung 95.

Heberüberlauf 14.

Konusturbine 34.

Lagenenergie 30, 40.
Längsdiagramm 56.
Laufkanalachse 46, 54.
Laufrad, allgemeines 33.
Leerlaufkanal 16.
Leerschütze 14.
Leistungsgrad 115
Leitapparat, Allgemeines 30.
Leitapparatverlust 47.
Leitkanal 35.
Leitzelle 35.

Mehrstrahlpeltonturbinen 80.

Nadelschwenkdüse 120.
Nettogefälle 18.

Oberwasserkanal 8.
Öffnungsgrad 115.

Peltonlaufrad 66, 70.
Peltonleitapparat mit Zungenregulierung 73.
— mit Flachschieberregulierung 73.
— mit Nadelregulierung 73.
Peltonleitapparat mit Strahlabweisung 75.
— mit Strahlabspaltung 75.
— mit Strahlabschwenkung 76.
Peltonschaufel 65.
Peltonturbine 35, 60.

Radgefälle 40.
Radialturbine, äußere 34.
—, innere 34.
Rechen 94.
Reguliergarantien 125.
Reguliervorschriften 125.
Relativbahn 29.
Relativgeschwindigkeit 24.
Relativrohrlänge 123.
Relativvorgang 28.
Rohgefälle 10.
Rohrdruckregulierung 116.
Rückführung 99.
Rückschaufel 46.

Saugrohr 87.
Schachtanlage 14.
Schaufelplan 45, 158
Servomotor 91, 105.
Schleuderdrehzahl 138.
Schnelligkeit 42.
Schnelligkeitsdiagramm 51, 67, 159.
Schnellschlußvorrichtung 141.
Schütze 12, 14.
Schwamkrugturbine 35, 156.
Schwebekolben 102.
Schwungmassenbedarf 128.
Spalt 33.
Standrohr 134.

Stauwehr 10.
Steuerventil 102.
Strahlturbinen 35.
Streichwehrüberlauf 14.
Systembereich der Peltonturbine 145.
Systembereich der Schwamkrugturbine 163.
Systembild der Peltonturbine 154.
Systembild der Schwamkrugturbine 166.
Systemlage 155.
Systemstrecke 150.
Systemziffer 149.

Totalwirkungsgrad 19.
Tourenverstellvorrichtung 112.

Überdruckturbinen 38.
Umfangschnelle 42.
Ungleichförmigkeitsgrad 100.
Unterwasserkanal 8.

Verteilungsrohrleitung 92.
Vorderschaufel 46.
Vorsteuerung 102.

Wasserschloß 14.
Wasserschloßausrüstung 89.
Wasserstoß 122.
Wirkungsgrad, hydraulischer 58, 69.
— mechanischer 59.
Wirkungsgradkurve 79.

Zweilageraggregat 84.
Zwillingspeltonturbinen 82.

S. 61

Amme, Giesecke & Konegen, A.-G.,

Braunschweig

Wir bauen

Francis-Turbinen
Geschwindigkeits-Regulatoren D.R.P.
Druck-Regulatoren D. R. P.

Ingenieurbesuche und Projektausarbeitungen kostenlos

Sammlung Göschen

Jeder Band in Leinw. geb. **90 Pf.**

Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Bände

Abwässer. Wasser und Abwässer. Ihre Zusammensetzung, Beurteilung u. Untersuchung von Professor Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landw. Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 473.

Ackerbau- u. Pflanzenbaulehre v. Dr. Paul Rippert i. Essen u. Ernst Langenbeck, Gr.-Lichterfelde. Nr. 232.

Agrarwesen und Agrarpolitik von Prof. Dr. W. Wygodzinski in Bonn. 2 Bändchen. **I:** Boden u. Unternehmung. Nr. 592.

— — **II:** Kapital u. Arbeit in der Landwirtschaft. Verwertung der landwirtschaftl. Produkte. Organisation des landwirtschaftl. Berufsstandes. Nr. 593.

Agrikulturchemie I: Pflanzenernährung v. Dr. Karl Grauer. Nr. 329.

Agrikulturchemische Kontrollwesen, Das, v. Dr. Paul Krische in Leopoldshall-Staßfurt. Nr. 304.

— **Untersuchungsmethoden** von Prof. Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landwirtschaftl. Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 470.

Akkumulatoren, Die, für Elektrizität v. Kais. Reg.-Rat Dr.-Ing. Richard Albrecht in Berlin-Zehlendorf. Mit 52 Figuren. Nr. 620.

Akustik. Theoret. Physik I: Mechanik u. Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an d. Techn. Hochschule in Wien. Mit 19 Abb. Nr. 76.

— **Musikalische,** von Professor Dr. Karl L. Schäfer in Berlin. Mit 36 Abbild. Nr. 21.

Algebra. Arithmetik und Algebra von Dr. H. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

Algebra. Beispielsammlung z. Arithmetik und Algebra von Dr. Herm. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule d. Johanneums i. Hamburg. Nr. 48.

Algebraische Kurven v. Eugen Beutel. Oberreallehrer in Vaihingen-Enz. **I:** Kurvendiskussion. Mit 57 Fig. im Text. Nr. 435.

— — **II:** Theorie u. Kurven dritter u. vierter Ordnung. Mit 52 Fig. im Text. Nr. 436.

Alpen, Die, von Dr. Rob. Sieger, Professor an der Universität Graz. Mit 19 Abb. u. 1 Karte. Nr. 129.

Althochdeutsche Literatur mit Grammatik, Übersetzung u. Erläuterungen v. Th. Schauffler, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.

Alttestamentl. Religionsgeschichte von D. Dr. Max Löhr, Professor an der Universität Königsberg. Nr. 292.

Amphibien. Das Tierreich III: Reptilien u. Amphibien v. Dr. Franz Werner, Prof. an der Universität Wien. Mit 48 Abbild. Nr. 383.

Analyse, Techn.-Chem., von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgen. Polytechnischen Schule in Zürich. Mit 16 Abb. Nr. 195.

Analysis, Höhere, I: Differentialrechnung. Von Dr. Frdr. Junker, Rektor des Realgymnasiums u. der Oberrealschule in Göppingen. Mit 68 Figuren. Nr. 87.

— — **Repetitorium und Aufgabensammlung zur Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junker, Rektor d. Realgymnas. u. d. Oberrealsch. in Göppingen. Mit 46 Fig. Nr. 146.

Analysis, Höhere, II: Integralrechnung. Von Dr. Friedr. Junker, Rektor des Realgymnasiums u. d. Oberrealschule in Göppingen. Mit 89 Figuren. Nr. 88

— — **Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung** v. Dr. Friedr. Junker, Rekt d Realgymnas. und der Oberrealschule in Göppingen. Mit 50 Fig. Nr. 147.

— **Niedere,** von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Ehingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.

Arbeiterfrage, Die gewerbliche, von Werner Sombart, Prof. an der Handelshochschule Berlin. Nr. 209.

Arbeiterversicherung siehe: Sozialversicherung.

Archäologie von Dr. Friedrich Koepp, Prof. an der Universität Münster i. W. 3 Bändchen. M. 28 Abb. im Text u. 40 Tafeln. Nr. 538/40.

Arithmetik u. Algebra von Dr. Herm. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

— — **Beispielsammlung zur Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.

Armeepferd, Das, und die Versorgung der modernen Heere mit Pferden v. Felix von Damnitz, General der Kavallerie z. D. u. ehemal. Preuß. Remonteinspekteur. Nr. 514.

Armenwesen und Armenfürsorge. Einführung in d. soziale Hilfsarbeit v. Dr. Adolf Weber, Prof. an der Handelshochschule in Köln. Nr. 346.

Arzneimittel, Neuere, ihre Zusammensetzung, Wirkung und Anwendung von Dr. med. C. Bachem, Professor der Pharmakologie an der Universität Bonn. Nr. 669.

Ästhetik, Allgemeine, von Prof. Dr. Max Diez, Lehrer a. d. Kgl. Akademie d. bild. Künste in Stuttgart. Nr. 300.

Astronomie. Größe, Bewegung u. Entfernung der Himmelskörper v. A. F. Möbius, neu bearb. von Dr. Herm. Kobold, Prof. an der Universität Kiel. I: Das Planetensystem. Mit 33 Abbildungen. Nr. 11.

— — **II: Kometen, Meteore u. das Sternsystem.** Mit 15 Figuren und 1 Sternkarten. Nr. 529.

Astronomische Geographie von Dr. Siegm. Günther, Professor an der Technischen Hochschule in München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.

Astrophysik. Die Beschaffenheit der Himmelskörper v. Prof. W. F. Wislicenus. Neu bearbeitet von Dr. H. Ludendorff in Potsdam. Mit 15 Abbild. Nr. 91.

Ätherische Öle und Riechstoffe von Dr. F. Rochussen in Miltitz. Mit 9 Abbildungen. Nr. 446.

Aufsatzentwürfe v. Oberstudienrat Dr. L. W. Straub, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnas. i. Stuttg. Nr. 17.

Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate von Wilh. Weitbrecht, Prof der Geodäsie in Stuttgart. 2 Bändchen. Mit 16 Figuren. Nr. 302 u. 641.

Außereuropäische Erdteile, Länderkunde der, von Dr. Franz Heiderich, Professor an der Exportakademie in Wien. Mit 11 Textkärtchen und Profilen. Nr. 63.

Australien. Landeskunde u. Wirtschaftsgeographie des Festlandes Australien von Dr. Kurt Hassert, Prof. d. Geographie an d. Handels-Hochschule in Köln. Mit 8 Abb., 6 graph. Tab. u. 1 Karte. Nr. 319.

Autogenes Schweiß- und Schneidverfahren von Ingen. Hans Niese in Kiel. Mit 30 Figuren. Nr. 499.

Bade- u. Schwimmanstalten, Öffentliche, v. Dr. Karl Wolff, Stadtoberbaur., Hannover. M. 50 Fig. Nr. 380.

Baden. Badische Geschichte von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnas. in Pforzheim u. Privatdozent der Geschichte an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.

— **Landeskunde von Baden** von Prof. Dr. O. Kienitz i. Karlsruhe. Mit Profil., Abb. u. 1 Karte. Nr. 199.

Bahnhöfe. Hochbauten der Bahnhöfe v. Eisenbahnbauinspekt. C. Schwab, Vorstand d. Kgl. E.-Hochbausektion Stuttgart II. I: Empfangsgebäude, Nebengebäude. Güterschuppen, Lokomotivschuppen. Mit 91 Abbildungen. Nr. 515.

Balkanstaaten. Geschichte d. christlichen Balkanstaaten (Bulgarien, Serbien, Rumänien, Montenegro, Griechenland) von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 331.

Bankwesen, Technik des Bankwesens von Dr. Walter Conrad, stellvert. Vorsteher der statist. Abteilung der Reichsbank in Berlin. Nr. 484.

Bauführung. Kurzgefaßtes Handbuch über das Wesen der Bauführung v. Archit. Emil Beutinger, Assistent an d. Techn. Hochschule in Darmstadt. M. 35 Fig. u. 11 Tabell. Nr. 399.

Baukunst, Die, des Abendlandes v. Dr. K. Schäfer, Assist. a. Gewerbemuseum, Bremen. Mit 22 Abb. Nr. 74.

— **des Schulhauses** v. Prof. Dr.-Ing. Ernst Vetterlein, Darmstadt. **I:** Das Schulhaus. M. 38 Abb. Nr. 443.

— — **II:** Die Schulräume — Die Nebenanlagen. M. 31 Abb. Nr. 444.

Baumaschinen, Die, von Ingenieur Johannes Körting in Düsseldorf. Mit 130 Abbildungen. Nr. 702.

Bausteine. Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. G. Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.

Baustoffkunde, Die, v. Prof. H. Haberstroh, Oberl. a. d. Herzogl. Baugewerkschule Holzminden. Mit 36 Abbildungen. Nr. 506.

Bayern. Bayerische Geschichte von Dr. Hans Ockel i. Augsburg. Nr. 160.

— **Landeskunde des Königreichs Bayern** v. Dr. W. Götz, Prof. a. d. Kgl. Techn. Hochschule München. M. Profil., Abb. u. 1 Karte. Nr. 176.

Befestigungswesen. Die geschichtliche Entwicklung des Befestigungswesens vom Aufkommen der Pulvergeschütze bis zur Neuzeit von Reuleaux, Major b. Stabe d. 1. Westpreuß. Pionierbataill. Nr. 17. Mit 30 Bildern. Nr. 569.

Beschwerderecht. Das Disziplinar- u. Beschwerderecht für Heer u. Marine v. Dr. Max E. Mayer, Prof. a. d. Univ. Straßburg i. E. Nr. 517.

Betriebskraft, Die zweckmäßigste, von Friedr. Barth, Oberingen. in Nürnberg. 1. Teil: Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschied. Kraftmaschinen. M. 27 Abb. Nr. 224.

— — **II: Gas-, Wasser- u. Wind-Kraftanlagen.** M. 31 Abb. Nr. 225.

— — **III:** Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graph. Darstell. Wahl d. Betriebskraft. M. 27 Abb. Nr. 474.

Bevölkerungswissenschaft. Eine Einführung in die Bevölkerungsprobleme der Gegenwart von Dr. Otto Most, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf, Vorstand des Städtischen Statistischen Amts und Dozent an der Akademie für kommunale Verwaltung. Nr. 696.

Bewegungsspiele v. Dr. E. Kohlrausch, Prof. am Kgl. Kaiser Wilh.-Gymn. zu Hannover. Mit 15 Abb. Nr. 96.

Bleicherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe v. Dr. Wilh. Massot, Prof. a. d. Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Blütenpflanzen, Das System der, mit Ausschluß der Gymnospermen von Dr. R. Pilger, Kustos am Kgl. Botanischen Garten in Berlin-Dahlem. Mit 31 Figuren. Nr. 393.

Bodenkunde von Dr. P. Vageler in Königsberg i. Pr. Nr. 455.

Bolivia. Die Cordillerenstaaten von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. **I:** Einleitung, Bolivia u. Peru. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 652.

Brandenburg. Preußische Geschichte von Prof. Dr. M. Thamm, Dir. des Kaiser Wilhelms-Gymnasiums in Montabaur. Nr. 600.

Brasilien. Landeskunde der Republik Brasilien von Bel Rodolpho von Ihering. Mit 12 Abbildungen und 1 Karte. Nr 373.

Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. Paul Dreverhoff, Dir. der Brauer- u. Mälzerschule zu Grimma. Mit 16 Abbildungen. Nr. 303.

Britisch-Nordamerika. Landeskunde von Britisch-Nordamerika v. Prof. Dr. A. Oppel in Bremen. Mit 13 Abb. und 1 Karte. Nr. 284.

Brückenbau, Die allgemeinen Grundlagen des, von Prof. Dr.-Ing. Th. Landsberg, Geh. Baurat in Berlin. Mit 45 Figuren. Nr. 687.

Buchführung in einfachen u. doppelten Posten v. Prof. Rob. Stern, Oberl. d. Öffentl. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule zu Leipzig. M. vielen Formul. Nr. 115.

Buddha von Professor Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.

Burgenkunde, Abriß der, von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbildungen. Nr. 119.

Bürgerliches Gesetzbuch siehe: Recht des BGB.

Byzantinisches Reich. Geschichte des byzantinischen Reiches von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.

Chemie, Allgemeine u. physikalische, von Dr. Hugo Kauffmann, Prof. an der Königl. Techn. Hochschule in Stuttgart. 2 Teile. Mit 15 Figuren. Nr. 71. 698.

— **Analytische,** von Dr. Johannes Hoppe in München. I: Theorie und Gang der Analyse. Nr. 247.

— — II: Reaktion der Metalloide und Metalle. Nr. 248.

— **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.

— **Geschichte der,** von Dr. Hugo Bauer, Assist. am chemischen Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis z. Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.

— — II: Von Lavoisier bis zur Gegenwart. Nr. 265.

— **der Kohlenstoffverbindungen von** Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium d. Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.

— — III: Karbocyklische Verbindungen. Nr. 193.

— — IV: Heterocyklische Verbindungen. Nr. 194

— **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.

— **Pharmazeutische,** von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. 4 Bändchen. Nr. 543/44, 588 u. 682.

— **Physiologische,** von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.

— — II: Dissimilation. M. 1 Tafel. Nr. 241.

— **Toxikologische,** von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. Mit 6 Abbildungen. Nr. 465.

Chemische Industrie, Anorganische, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I: Die Leblancsodaindustrie und ihre Nebenzweige. Mit 12 Tafeln. Nr. 205.

Chemische Industrie, Anorganische, II: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie u. Verwandtes. Mit 6 Taf. Nr. 206.

— — **III:** Anorganische chemische Präparate. M. 6 Taf. Nr. 207.

Chemische Technologie, Allgemeine, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.

Chemisch-Technische Analyse von Dr. G. Lunge, Prof. an der Eidgen. Polytechnischen Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.

Chemisch-technische Rechnungen v. Chem. H. Deegener. Mit 4 Figuren. Nr. 701.

Christlichen Literaturen des Orients, Die, von Dr. Anton Baumstark. I: Einleitung. — Das christlich-aramäische u. d. koptische Schrifttum. Nr. 527.

— — II: Das christl.-arab. und das äthiop. Schrifttum. — Das christl. Schrifttum d. Armenier und Georgier. Nr. 528.

Colombia. Die Cordillerenstaaten von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. II: Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.

Cordillerenstaaten, Die, von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. I: Einleitung, Bolivia u. Peru. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 652.

— — II: Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.

Dampfkessel, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. den praktischen Gebrauch von Oberingenieur Friedr. Barth in Nürnberg. I: Kesselsysteme und Feuerungen. Mit 43 Fig. Nr. 9.

— — II: Bau und Betrieb der Dampfkessel. M. 57 Fig. Nr. 521.

Dampfmaschinen, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedr. Barth, Oberingenieur in Nürnberg. 2 Bdchn. I: Wärmetheoretische und dampftechnische Grundlagen. Mit 64 Fig. Nr. 8.

— — II: Bau und Betrieb der Dampfmaschinen. Mit 109 Fig. Nr. 572.

Dampfturbinen, Die, ihre Wirkungsweise u. Konstruktion von Ingen. Herm. Wilda, Prof. a. staatl. Technikum in Bremen. 3 Bdchn. Mit zahlr. Abb. Nr. 274, 715 u. 716.

Desinfektion von Dr. M. Christian, Stabsarzt a. D. in Berlin. Mit 18 Abbildungen. Nr. 546.

Determinanten von P. B. Fischer, Oberl. a. d. Oberrealsch. z. Groß-Lichterfelde. Nr. 402.

Deutsche Altertümer von Dr. Franz Fuhse, Dir. d. städt. Museums in Braunschweig. M. 70 Abb. Nr. 124.

Deutsche Fortbildungsschulwesen, Das, nach seiner geschichtlichen Entwicklung u. in seiner gegenwärt. Gestalt von H. Sierck, Revisor gewerbl. Fortbildungsschulen in Schleswig. Nr. 392.

Deutsches Fremdwörterbuch von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 273.

Deutsche Geschichte von Dr. F. Kurze, Prof. a. Kgl. Luisengymnas. in Berlin. **I: Mittelalter** (bis 1519). Nr. 33.

— — **II: Zeitalter der Reformation und der Religionskriege** (1517 bis 1648). Nr. 34.

— — **III: Vom Westfälischen Frieden bis zur Auflösung des alten Reichs** (1648—1806). Nr. 35.

— — siehe auch: Quellenkunde.

Deutsche Grammatik und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Prof. Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.

Deutsche Handelskorrespondenz von Prof. Th. de Beaux, Officier de l'Instruction Publique. Nr. 182.

Deutsches Handelsrecht von Dr. Karl Lehmann, Prof. an der Universität Göttingen. 2 Bde. Nr. 457 u. 458.

Deutsche Heldensage, Die, von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Prof. an d. Univ. Würzburg. Mit 5 Tafeln. Nr. 32.

Deutsche Kirchenlied, Das, in seinen charakteristischen Erscheinungen ausgewählt v. D. Friedrich Spitta, Prof. a. d. Universität in Straßburg i. E. **I:** Mittelalter u. Reformationszeit. Nr. 602.

Deutsches Kolonialrecht von Prof. Dr. H. Edler von Hoffmann, Studiendirektor d. Akademie f. kommunale Verwaltung in Düsseldorf. Nr. 318.

Deutsche Kolonien. I: Togo und Kamerun von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 441.

— **II: Das Südseegebiet und Kiautschou** von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Tafeln u. 1 lith. Karte. Nr. 520.

— **III: Ostafrika** von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 567.

— — **IV: Südwestafrika** von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Taf. und 1 lithogr. Karte. Nr. 637.

Deutsche Kulturgeschichte von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

Deutsches Leben im 12. u. 13. Jahrhundert. Realkommentar zu den Volks- u. Kunstepen u. zum Minnesang. Von Prof. Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. **I:** Öffentliches Leben. Mit zahlreichen Abbildungen. Nr. 93.

— — **II:** Privatleben. Mit zahlreichen Abbildungen. Nr. 328.

Deutsche Literatur des 13. Jahrhunderts. Die Epigonen d. höfischen Epos. Auswahl a. deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junk, Aktuarius der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.

Deutsche Literaturdenkmäler des 14. u. 15. Jahrhunderts. Ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Jantzen, Direktor d. Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 181.

— **des 16. Jahrhunderts. I: Martin Luther und Thom. Murner.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymn. zu Leipzig. Nr. 7.

— — **II: Hans Sachs.** Ausgewählt u. erläut. v. Prof. Dr. J. Sahr. Nr. 24.

— — **III: Von Brant bis Rollenhagen: Brant, Hutten, Fischart, sowie Tierepos u. Fabel.** Ausgew. u. erläut. von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 36.

— **des 17. und 18. Jahrhunderts bis Klopstock. I:** Lyrik von Dr. Paul Legband in Berlin. Nr. 364.

— **II:** Prosa v. Dr. Hans Legband in Kassel. Nr. 365.

Deutsche Literaturgeschichte von Dr. Max Koch, Prof. an der Universität Breslau. Nr. 31.

Deutsche Literaturgeschichte d. Klassikerzeit v. Carl Weitbrecht, durchgesehen u. ergänzt v. Karl Berger. Nr. 161.

— **des 19. Jahrhunderts** von Carl Weitbrecht, neu bearbeitet von Dr. Rich. Weitbrecht in Wimpfen. I. II. Nr. 134. 135.

Deutschen Mundarten, Die, von Prof. Dr. H. Reis in Mainz. Nr. 605.

Deutsche Mythologie. Germanische Mythologie von Dr. Eugen Mogk, Prof. an der Universität Leipzig. Nr. 15.

Deutschen Personennamen, Die, v. Dr. Rud. Kleinpaul i. Leipzig. Nr. 422.

Deutsche Poetik von Dr. K. Borinski, Prof. a. d. Univ. München. Nr. 40.

Deutsche Rechtsgeschichte v. Dr. Richard Schröder, Prof. a. d. Univers. Heidelberg. **I:** Bis z. Mittelalter. Nr. 621.

— — **II:** Die Neuzeit. Nr. 664.

Deutsche Redelehre von Hans Probst, Gymnasialprof. i. Bamberg. Nr. 61.

Deutsche Schule, Die, im Auslande von Hans Amrhein, Seminaroberlehrer in Rheydt. Nr. 259.

Deutsches Seerecht v. Dr Otto Brandis, Oberlandesgerichtsrat in Hamburg. **I:** Allgem. Lehren: Personen u. Sachen d. Seerechts. Nr. 386.

— — **II:** Die einz. seerechtl. Schuldverhältnisse: Verträge des Seerechts u. außervertragliche Haftung. Nr. 387.

Deutsche Stadt, Die, und ihre Verwaltung. Eine Einführung i. d. Kommunalpolitik d. Gegenw. Herausgeg. v. Dr. Otto Most, Beigeordn. d. Stadt Düsseldorf. **I:** Verfassung u. Verwaltung im allgemeinen; Finanzen und Steuern; Bildungs- und Kunstpflege; Gesundheitspflege. Nr. 617.

— — **II:** Wirtschafts- u. Sozialpolitik. Nr. 662.

— — **III:** Technik: Städtebau, Tief- u. Hochbau. Mit 48 Abb. Nr. 663.

Deutsche Stammeskunde v. Dr. Rud. Much, a. o. Prof. a. d. Univ. Wien. Mit 2 Kart. u. 2 Taf. Nr. 126.

Deutsches Unterrichtswesen. Geschichte des deutschen Unterrichtswesens v. Prof. Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Kgl. Gymnasiums zu Luckau. **I:** Von Anfang an bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Nr. 275.

— — **II:** Vom Beginn d. 19. Jahrh. bis auf die Gegenwart. Nr. 276.

Deutsche Urheberrecht, Das, an literarischen, künstlerischen u. gewerblichen Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internat. Verträge v. Dr. Gust. Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 263.

Deutsche Volkslied, Das, ausgewählt u. erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. 2 Bändchen. Nr. 25 u. 132.

Deutsche Wehrverfassung von Karl Endres, Geheimer Kriegsrat u. vortragender Rat im Kriegsministerium in München. Nr. 401.

Deutsches Wörterbuch v. Dr. Richard Loewe. Nr. 64.

Deutsche Zeitungswesen, Das, von Dr. Robert Brunhuber in Köln a. Rh. Nr. 400.

Deutsches Zivilprozeßrecht von Prof. Dr. Wilhelm Kisch in Straßburg i. E. 3 Bände. Nr. 428—430.

Deutschland in römischer Zeit von Dr. Franz Cramer, Provinzialschulrat zu Münster i. W. Mit 23 Abbildungen. Nr. 633.

Dichtungen aus mittelhochdeutscher Frühzeit. In Ausw. mit Einltg. u. Wörterb. herausgeg. v. Dr. Herm. Jantzen, Direktor d. Königin Luise-Schule i. Königsberg i. Pr. Nr. 137.

Dietrichepen. Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung u. Wörterbuch von Dr. O. L. Firiczek, Prof. a. d. Universität Würzburg. Nr. 10.

Differentialrechnung von Dr. Friedr. Junker, Rektor d. Realgymnasiums u. der Oberrealschule in Göppingen. Mit 68 Figuren. Nr. 87.

— **Repetitorium u. Aufgabensammlung zur Differentialrechnung** von Dr. Friedr. Junker, Rektor d. Realgymnasiums u. d. Oberrealschule in Göppingen. Mit 46 Fig. Nr. 146.

Disziplinar- u. Beschwerderecht für Heer u. Marine, Das, von Dr. Max E. Mayer, Professor a. d. Universität Straßburg i. E. Nr. 517.

Drogenkunde von Rich. Dorstewitz in Leipzig und Georg Ottersbach in Hamburg. Nr. 413.

Druckwasser- und Druckluft-Anlagen. Pumpen, Druckwasser- u. Druckluft-Anlagen von Dipl.-Ingen. Rudolf Vogdt, Regierungsbaumstr. a. D. in Aachen. Mit 87 Fig. Nr. 290.

Ecuador. Die Cordillerenstaaten von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. **II:** Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.

Eddalieder mit Grammatik, Übersetzg. u. Erläuterungen von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasialoberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.

Eisenbahnbau. Die Entwicklung des modernen Eisenbahnbaues v. Dipl. Ing. Alfred Birk, o. ö. Prof. a. d. k. k. Deutschen Techn. Hochschule in Prag. Mit 27 Abbild. Nr. 553.

Eisenbahnbetrieb, Der, v. S. Scheibner, Königl. Oberbaurat a. D. in Berlin. Mit 3 Abbildgn. Nr. 676.

Eisenbahnen, Die Linienführung der, von H. Wegele, Professor an der Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 52 Abbildungen. Nr. 623.

Eisenbahnfahrzeuge von H. Hinnenthal, Regierungsbaumeister u. Oberingen. in Hannover. **I:** Die Lokomotiven. Mit 89 Abbild. im Text und 2 Tafeln. Nr. 107.

— — **II:** Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit Anh.: Die Eisenbahnfahrzeuge im Betrieb. Mit 56 Abb. im Text u. 3 Taf. Nr. 108.

Eisenbahnpolitik. Geschichte d. deutschen Eisenbahnpolitik v. Betriebsinspektor Dr. Edwin Kech in Karlsruhe i. B. Nr. 533.

Eisenbahnverkehr, Der, v. Kgl. Eisenbahn-Rechnungsdirektor Th. Wilbrand in Berlin-Friedenau. Nr. 618.

Eisenbetonbau, Der, v. Reg.-Baumstr. Karl Rößle. Mit 75 Abbildungen. Nr. 349.

Eisenbetonbrücken von Dr.-Ing. K. W. Schaechterle in Stuttgart. Mit 104 Abbildungen. Nr. 627.

Eisenhüttenkunde von A. Krauß, dipl. Hütteningenieur. **I:** Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Taf. Nr. 152.

— — **II:** Das Schmiedeisen. M. 25 Fig. u. 5 Taf. Nr. 153.

Eisenkonstruktionen im Hochbau von Ingen. Karl Schindler in Meißen. Mit 115 Figuren. Nr. 322.

Eiszeitalter, Das, v. Dr. Emil Werth in Berlin-Wilmersdorf. Mit 17 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 431.

Elastizitätslehre für Ingenieure I: Grundlagen und Allgemeines über Spannungszustände, Zylinder, Ebene Platten, Torsion, Gekrümmte Träger. Von Dr.-Ing. Max Enßlin, Prof. a. d. Kgl. Baugewerkschule Stuttgart und Privatdozent a. d. Techn. Hochschule Stuttgart. Mit 60 Abbild. Nr. 519.

Elektrischen Meßinstrumente, Die, von J. Herrmann, Prof. an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Mit 195 Figuren. Nr. 477.

Elektrische Öfen von Dr. Hans Goerges in Berlin-Südende. Mit 68 Abbildgn. Nr. 704.

Elektrische Schaltapparate von Dr.-Ing. Erich Beckmann, Professor an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 54 Fig. u. 107 Abb. auf 16 Tafeln. Nr. 711.

Elektrische Telegraphie, Die, von Dr. Lud. Rellstab. Mit 19 Fig. Nr. 172.

Elektrizität. Theoret. Physik III: Elektrizität u. Magnetismus von Dr. Gust. Jäger, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.

Elektrochemie von Dr. Heinr. Danneel in Genf. **I:** Theoretische Elektrochemie u. ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 16 Fig. Nr. 252.

— — **II:** Experiment. Elektrochemie, Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Mit 26 Fig. Nr. 253.

Elektromagnet. Lichttheoric. Theoret. Physik IV: Elektromagnet. Lichttheorie u. Elektronik von Professor Dr. Gust. Jäger in Wien. Mit 21 Figuren. Nr. 374.

Elektrometallurgie von Dr. Friedrich Regelsberger, Kaiserl. Reg.-Rat in Steglitz-Berlin. M. 16 Fig. Nr. 110.

Elektrotechnik. Einführung in die Starkstromtechnik v. J. Herrmann, Prof. d. Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. **I:** Die physikalischen Grundlagen. Mit 95 Fig. u. 16 Taf. Nr. 196.

— — **II:** Die Gleichstromtechnik. Mit 118 Fig. und 16 Taf. Nr. 197.

— — **III:** Die Wechselstromtechnik. Mit 154 Fig. u. 16 Taf. Nr. 198.

— — **IV:** Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie. Mit 96 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 657.

Elektrotechnik. Die Materialien des Maschinenbaues und der Elektrotechnik von Ingenieur Prof. Hermann Wilda in Bremen. Mit 3 Abbildgn. Nr. 476.

Elsaß-Lothringen, Landeskunde von, v. Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 215.

Englisch-deutsches Gesprächsbuch von Prof. Dr. E. Hausknecht in Lausanne. Nr. 424.

Englisch für Techniker. Ein Lese- und Übungsbuch für Ingenieure u. zum Gebrauch an Technischen Lehranstalten. Unter Mitarbeit von Albany Featherstonhaugh, Dozent an d. militärtechn. Akademie in Charlottenburg herausgegeben von Ingenieur Carl Volk, Direktor der Beuth-Schule, Berlin. I. Teil. Mit 25 Fig. Nr. 705.

Englische Geschichte v. Prof. L. Gerber, Oberlehrer in Düsseldorf. Nr. 375.

Englische Handelskorrespondenz von E. E. Whitfield, M. A., Oberlehrer an King Edward VII Grammar School in King's Lynn. Nr. 237.

Englische Literaturgeschichte von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.

Englische Literaturgeschichte. Grundzüge und Haupttypen d. englischen Literaturgeschichte von Dr. Arnold M. M. Schröer, Professor an der Handelshochschule in Köln, 2 Teile. Nr. 286, 287.

Englische Phonetik mit Lesestücken von Dr. A. C. Dunstan, Lektor an der Universität Königsberg i. Preußen. Nr. 601.

Entwicklungsgeschichte der Tiere von Dr. Johannes Meisenheimer, Prof. der Zoologie an der Universität Jena. I: Furchung, Primitivanlagen, Larven, Formbildung, Embryonalhüllen. Mit 48 Fig. Nr. 378.

— — **II:** Organbildung. Mit 46 Fig. Nr. 379.

Epigonen, Die, des höfischen Epos. Auswahl aus deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junk, Aktuarius d. Kaiserl. Akad. der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.

Erbrecht. Recht des Bürgerl. Gesetzbuches. Fünftes Buch: Erbrecht von Dr. Wilhelm von Blume, ord. Prof. der Rechte an der Univ. Tübingen. I. Abteilung: Einleitung — Die Grundlagen des Erbrechts. II. Abteilung: Die Nachlaßbeteiligten. Mit 23 Figuren. Nr. 659/60.

Erdbau von Reg.-Baum. Erwin Link in Stuttgart Mit 72 Abbild. Nr. 630.

Erdmagnetismus, Erdstrom u. Polarlicht von Dr. A. Nippoldt, Mitglied des Königl. Preußischen Meteorologischen Instituts in Potsdam. Mit 7 Tafeln und 16 Figuren. Nr. 175.

Erdteile, Länderkunde der außereuropäischen, von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. d. Exportakad. in Wien. Mit 11 Textkärtchen u. Profilen. Nr. 63.

Ernährung und Nahrungsmittel von Oberstabsarzt Professor H. Bischoff in Berlin. Mit 4 Abbild. Nr. 464

Ethik von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.

Europa, Länderkunde von, von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. d. Exportakademie in Wien. Mit 14 Textkärtchen u. Diagrammen u. einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.

Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen d. häufigeren i. Deutschland wildwachsenden Pflanzen von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. 2 Teile Mit je 50 Abbildungen. Nr. 268 und 269.

Experimentalphysik v. Prof. R. Lang in Stuttgart. **I:** Mechanik der festen, flüssigen und gasigen Körper. Mit 125 Figuren. Nr. 611.

— — **II:** Wellenlehre u. Akustik. Mit 69 Figuren. Nr. 612.

Explosivstoffe Einführung in d. Chemie der explosiven Vorgänge von Dr. H. Brunswig in Steglitz. Mit 6 Abbild. und 12 Tab. Nr. 333.

Familienrecht. Recht d. Bürgerlichen Gesetzbuches. Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Titze, Prof. a. d. Univ. Göttingen. Nr. 305.

Färberei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilhelm Massot, Prof. an der Preußischen höheren Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Feldgeschütz, Das moderne, v. Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer a. d. Militärtechn. Akademie in Berlin. I: Die Entwicklung des Feldgeschützes seit Einführung des gezogenen Infanteriegewehrs bis einschl. der Erfindung des rauchl. Pulvers, etwa 1850 bis 1890. Mit 1 Abbild. Nr. 306.

— — II: Die Entwicklung d. heutigen Feldgeschützes auf Grund der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1890 bis zur Gegenwart. Mit 11 Abbild. Nr. 307.

Fernmeldewesen. Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen von K. Fink, Geheim Baurat in Hannover. Mit 50 Figuren. Nr. 707.

Fernsprechwesen, Das, von Dr. Ludwig Rellstab in Berlin. Mit 47 Fig. und 1 Tafel. Nr. 155.

Festigkeitslehre v. Prof. W. Hauber, Dipl.-Ing. Mit 56 Fig. Nr. 288.

— **Aufgabensammlung zur Festigkeitslehre mit Lösungen** von R. Haren, Diplom-Ingenieur in Mannheim. Mit 42 Fig. Nr. 491.

Fette, Die, und Öle sowie die Seifen- u. Kerzenfabrikat. u. d. Harze, Lacke, Firnisse m. ihren wicht. Hilfsstoffen von Dr. Karl Braun in Berlin. I: Einführung in die Chemie, Besprechung einiger Salze und der Fette und Öle. Nr. 335.

— — II: Die Seifenfabrikation, die Seifenanalyse und die Kerzenfabrikation. Mit 25 Abbildungen. Nr. 336.

— — III: Harze, Lacke, Firnisse. Nr. 337.

Feuerwaffen. Geschichte d. gesamten Feuerwaffen bis 1850. Die Entwicklung der Feuerwaffen v. ihrem ersten Auftreten bis zur Einführung d. gezog. Hinterlader, unter besond. Berücksichtig. d. Heeresbewaffnung von Major a. D. W. Gohlke, Steglitz-Berlin. Mit 105 Abbildungen. Nr. 530.

Feuerwerkerei, Die, von Direktor Dr. Alfons Bujard, Vorstand des Städt. Chemischen Laboratoriums in Stuttgart. Mit 6 Fig. Nr 634.

Filzfabrikation. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Professor Max Gürtler, Geh. Regierungsr. im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Fig. Nr. 185.

Finanzsysteme der Großmächte, Die, (Internat. Staats- und Gemeinde-Finanzwesen) v. O. Schwarz, Geh. Oberfinanzrat in Berlin. 2 Bändchen. Nr. 450 und 451.

Finanzwissenschaft von Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. I: Allgemeiner Teil. Nr. 148.

— — II: Besonderer Teil (Steuerlehre). Nr. 391.

Finnisch-ugrische Sprachwissenschaft von Dr. Josef Szinnyei, Prof. an der Universität Budapest. Nr. 463.

Finnland. Landeskunde des Europäischen Rußlands nebst Finnlands von Prof. Dr. A. Philippson in Halle a. S. Nr. 359.

Firnisse. Harze, Lacke, Firnisse von Dr. Karl Braun in Berlin. (Fette und Öle III.) Nr. 337.

Fische. Das Tierreich IV: Fische von Prof. Dr. Max Rauther in Neapel. Mit 37 Abbild. Nr. 356.

Fischerei und Fischzucht von Dr. Karl Eckstein, Prof. a. d. Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.

Flechten, Die. Eine Übersicht unserer Kenntnisse v. Prof. Dr. G. Lindau, Kustos a. Kgl. Botanisch. Museum, Privatdozent an d. Univers. Berlin. Mit 55 Figuren. Nr 683.

Flora. Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen v. Dr. W. Migula, Prof. a. d. Forstakademie Eisenach. 2 Teile. Mit je 50 Abbild. Nr. 268, 269.

Flußbau von Regierungsbaumeister Otto Rappold in Stuttgart. Mit 103 Abbildungen. Nr. 597.

Fördermaschinen, Die elektrisch betriebenen, von A. Balthaser, Dipl.-Bergingenieur. Mit 62 Figuren. Nr. 678.

Forensische Psychiatrie von Professor Dr. W. Weygandt, Dir. d. Irrenanstalt Friedrichsberg i. Hamburg. 2 Bändchen. Nr. 410 u. 411.

Forstwissenschaft v. Dr. Ad. Schwappach, Prof. a. d. Forstakad. Eberswalde, Abteil.-Dirig. b. d. Hauptstat. d. forstl. Versuchswesens. Nr. 106.

Fortbildungsschulwesen, Das deutsche, nach seiner geschichtl. Entwicklung u. i. sein. gegenwärt. Gestalt v. H. Sierks, Revisor gewerbl. Fortbildungsschulen in Schleswig. Nr. 392.

Franken. Geschichte Frankens v. Dr. Christ. Meyer, Kgl. preuß. Staatsarchivar a. D., München. Nr. 434.

Frankreich. Französische Geschichte v. Dr. R. Sternfeld, Prof. an der Universität Berlin. Nr. 85.

Frankreich. Landesk. v. Frankreich v. Dr. Rich. Neuse, Direkt. d. Oberrealschule in Spandau. 1. Bändch. M. 23 Abb. im Text u. 16 Landschaftsbild. auf 16 Taf. Nr. 466.
— — 2. Bändchen. Mit 15 Abb. im Text, 18 Landschaftsbild. auf 16 Tafeln u. 1 lithogr. Karte. Nr. 467.

Französisch-deutsches Gesprächsbuch von C. Francillon, Lektor am orientalisch. Seminar u. an d. Handelshochschule in Berlin. Nr. 596

Französische Handelskorrespondenz v. Prof. Th. de Beaux, Officier de l'Instruction Publique. Nr. 183.

Französisches Lesebuch mit Wörterverzeichnis von Cyprien Francillon, Lektor a. oriental. Seminar u. a. d. Handelshochschule i. Berlin. Nr 643.

Fremdwort, Das, im Deutschen v. Dr. Rud. Kleinpaul, Leipzig. Nr. 55.

Fremdwörterbuch, Deutsches, von Dr. Rud. Kleinpaul, Leipzig. Nr. 273.

Fuge. Erläuterung u. Anleitung zur Komposition derselben v. Prof. Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 418.

Funktionentheorie von Dr. Konrad Knopp, Privatdozent an der Universität Berlin. **I:** Grundlagen der allgemeinen Theorie der analyt. Funktionen. Mit 9 Fig. Nr. 668.
— — **II:** Anwendungen der Theorie zur Untersuchung spezieller analytischer Funktionen. Mit 10 Figuren. Nr. 703.
— **Einleitung in die,** (Theorie der komplexen Zahlenreihen) von Max Rose, Oberlehrer an der Goetheschule in Deutsch-Wilmersdorf. Mit 10 Figuren. Nr. 581.

Fußartillerie, Die, ihre Organisation. Bewaffnung u. Ausbildg. v. Splett, Oberleutn. im Lehrbat. d. Fußart.-Schießschule u. Biermann, Oberleutn. in der Versuchsbatt. d. Art.-Prüfungskomm. M. 35 Fig. Nr. 560.

Gardinenfabrikation. Textilindustrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- u. Gardinenfabrikation u. Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Geh. Reg.-Rat im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185.

Gas- und Wasserinstallationen mit Einschluß der Abortanlagen von Prof. Dr. phil. und Dr.-Ingen. Eduard Schmitt in Darmstadt. Mit 119 Abbildungen. Nr. 412.

Gaskraftmaschinen, Die, v. Ing. Alfred Kirschke in Kiel. 2 Bändchen. Mit 116 Abb. u. 6 Tafeln. Nr. 316 u. 651.

Gasthäuser und Hotels von Architekt Max Wöhler in Düsseldorf. **I:** Die Bestandteile u. die Einrichtung des Gasthauses. Mit 70 Fig. Nr. 525.
— — **II:** Die verschiedenen Arten von Gasthäusern. Mit 82 Fig. Nr. 526.

Gebirgsartillerie. Die Entwicklung der Gebirgsartillerie von Klußmann, Oberst u. Kommandeur der 1. Feld-Art.-Brigade in Königsberg i. Pr. Mit 78 Bildern und Übersichtstafeln. Nr. 531.

Genossenschaftswesen, Das, in Deutschland v. Dr. Otto Lindecke in Düsseldorf. Nr. 384.

Geodäsie von Prof. Dr. C. Reinhertz in Hannover. Neubearbeitet von Dr. G. Förster, Observator a. Geodätisch. Inst. Potsdam. M. 68 Abb. Nr. 102.
— **Vermessungskunde** von Diplom.-Ing. P. Werkmeister, Oberlehr. a. d. Kais. Techn Schule i. Straßburg i. E. **I:** Feldmessen u. Nivellieren. Mit 146 Abb. **II:** Der Theodolit. Trigonometr. u. barometr. Höhenmessg. Tachymetr. M. 109 Abb. Nr. 468, 469.

Geographie, Geschichte der, von Prof. Dr. Konrad Kretschmer i. Charlottenburg. Mit 11 Kart. im Text. Nr. 624.

Geologie in kurzem Auszug f. Schulen u. zur Selbstbelehrung zusammengestellt v. Prof. Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. u. 4 Tafeln mit 51 Figuren. Nr. 13.

Geometrie, Analytische, der Ebene v. Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 52 Figuren. Nr. 65.

— — **Aufgabensammlung zur Analytischen Geometrie der Ebene** von O. Th. Bürklen, Professor am Kgl. Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Mit 32 Fig. Nr. 256.

— — **des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 28 Abbildungen. Nr. 89.

— — **Aufgabensammlung zur Analytischen Geometrie des Raumes** von O. Th. Bürklen, Professor am Kgl. Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Mit 8 Fig. Nr. 309.

— **Darstellende,** von Dr. Robert Haußner, Prof. an d. Univ. Jena, I. Mit 110 Figuren. Nr. 142.

— — II. Mit 40 Figuren. Nr. 143.

— **Ebene,** von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarbigen Figuren. Nr. 41.

— **Projektive,** in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 91 Figuren. Nr. 72.

Geometrische Optik, Einführung in die, von Dr. W. Hinrichs in Wilmersdorf-Berlin. Nr. 532.

Geometrisches Zeichnen von H. Becker, Architekt u. Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neubearbeitet von Prof. J. Vonderlinn in Münster. Mit 290 Figuren und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

Germanische Mythologie von Dr. E. Mogk, Prof. a. d. Univ. Leipzig. Nr. 15.

Germanische Sprachwissenschaft von Dr. Rich. Loewe. Nr. 238.

Gesangskunst. Technik der deutschen Gesangskunst von Osk. Roß u. Dr. Hans Joachim Moser. Nr. 576.

Geschäfts- und Warenhäuser v. Hans Schliepmann, Königl. Baurat in Berlin. I: Vom Laden zum „Grand Magasin". Mit 23 Abb. Nr. 655.

— — **II:** Die weitere Entwickelung d. Kaufhäuser. Mit 39 Abb. Nr. 656.

Geschichtswissenschaft, Einleitung in die, v. Dr. Ernst Bernheim, Prof. an der Univ. Greifswald. Nr. 270.

Geschütze, Die modernen, der Fußartillerie v. Mummenhoff, Oberstleutnant u. Kommand. d. Thür. Fußartillerie Regts. Nr. 18. I: Vom Auftreten d. gezogenen Geschütze bis zur Verwendung des rauchschwachen Pulvers 1850—1890. Mit 50 Textbildern. Nr. 334.

— — **II:** Die Entwicklung der heutigen Geschütze der Fußartillerie seit Einführung des rauchschwachen Pulvers 1890 bis zur Gegenwart. Mit 33 Textbildern. Nr. 362.

Geschwindigkeitsregler der Kraftmaschinen, Die, v. Dr.-Ing. H. Kröner in Friedberg. Mit 33 Fig. Nr. 604.

Gesetzbuch, Bürgerliches, siehe: Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches.

Gesundheitslehre. Der menschliche Körper, seine Bau und seine Tätigkeiten v. E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbild. u. 1 Tafel. Nr. 18.

Gewerbehygiene von Dr. E. Roth in Potsdam. Nr. 350.

Gewerbewesen von Werner Sombart, Professor an der Handelshochschule Berlin. I. II. Nr. 203, 204.

Gewerbliche Arbeiterfrage, Die, von Werner Sombart, Prof. a. d. Handelshochschule Berlin. Nr. 209.

Gewerbliche Bauten. Industrielle und gewerbliche Bauten (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) v. Architekt Heinr. Salzmann in Düsseldorf. I: Allgemeines über Anlage und Konstruktion der industriellen und gewerblichen Bauten. Nr. 511.

— — **II:** Speicher und Lagerhäuser. Mit 123 Figuren. Nr. 512.

Gewichtswesen. Maß-, Münz- u. Gewichtswesen v. Dr. Aug. Blind, Prof. a. d. Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Gießereimaschinen von Dipl.-Ing. Emil Treiber in Heidenheim a. B. Mit 51 Figuren. Nr. 548.

Glas- und keramische Industrie (Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels I) v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 233.

Gleichstrommaschine, Die, von Ing. Dr. C. Kinzbrunner in London. Mit 81 Figuren. Nr. 257.

Gletscherkunde v. Dr. Fritz Machaček in Wien. Mit 5 Abbildungen im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.

Gotische Sprachdenkmäler mit Grammatik, Übersetzung u. Erläutergn. v. Dr. Herm. Jantzen, Direktor d. Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 79.

Gottfried von Straßburg. Hartmann von Aue. Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl a. d. höfisch. Epos m. Anmerk. u. Wörterbuch v. Dr. K. Marold, Prof. am Kgl. Friedrichs-Kollegium zu Königsberg/Pr. Nr. 22.

Graphischen Künste, Die, von Carl Kampmann, k. k. Lehrer an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbildungen u. Beilagen. Nr. 75.

Griechisch. Neugriechisch-deutsches Gesprächsbuch mit besond. Berücksichtigung der Umgangssprache von Dr. Johannes Kalitsunakis, Doz. am Seminar für orient. Sprache in Berlin. Nr. 587.

Griechische Altertumskunde v. Prof. Dr. Rich. Maisch, neu bearbeitet v. Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.

Griechische Geschichte von Dr. Heinrich Swoboda, Professor an d. deutschen Universität Prag. Nr. 49.

Griechische Literaturgeschichte mit Berücksichtigung d. Geschichte der Wissenschaften v. Dr. Alfred Gercke, Prof. an der Univ. Breslau. 2 Bändchen. Nr. 70 u. 557.

Griechischen Papyri, Auswahl aus, von Prof. Dr. Robert Helbing in Karlsruhe i. B. Nr. 625.

Griechischen Sprache, Geschichte der, I: Bis zum Ausgange d. klassischen Zeit v. Dr. Otto Hoffmann, Professor an der Universität Münster. Nr. 111.

Griechische u. römische Mythologie v. Prof. Dr. Herm. Steuding, Rekt. d. Gymnas. in Schneeberg. Nr. 27.

Grundbuchrecht, Das formelle, von Oberlandesgerichtsr. Dr. F. Kretzschmar in Dresden. Nr. 549.

Handelspolitik, Auswärtige, von Dr. Heinr. Sieveking, Professor an der Universität Zürich. Nr. 245.

Handelsrecht, Deutsches, von Dr. Karl Lehmann, Prof. an d. Universität Göttingen. **I:** Einleitung. Der Kaufmann u. seine Hilfspersonen. Offene Handelsgesellschaft. Kommandit- und stille Gesellschaft. Nr. 457.

— — **II:** Aktiengesellschaft. Gesellsch. m. b. H. Eing. Gen. Handelsgesch. Nr. 458.

Handelsschulwesen, Das deutsche, von Direktor Theodor Blum in Dessau. Nr. 558.

Handelsstand, Der, von Rechtsanwalt Dr. jur. Bruno Springer in Leipzig (Kaufmänn. Rechtskunde. Bd. 2). Nr. 545.

Handelswesen, Das, von Geh. Oberregierungsrat Dr. Wilh. Lexis, Professor an der Universität Göttingen. **I:** Das Handelspersonal und der Warenhandel. Nr. 296.

— — **II:** Die Effektenbörse und die innere Handelspolitik. Nr. 297.

Handfeuerwaffen, Die Entwicklung der, seit der Mitte des 19. Jahrhunderts u. ihr heutiger Stand von G. Wrzodek, Hauptmann u. Kompagniechef im Inf.-Reg. Freiherr Hiller von Gärtringen (4. Posensches) Nr. 59 i. Soldau. M. 21 Abb. Nr. 366.

Harmonielehre von A. Halm. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 120.

Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus d. höfischen Epos mit Anmerk. u. Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Königl. Friedrichs-Kollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.

Harze, Lacke, Firnisse von Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette und Öle III). Nr. 337.

Hebezeuge, Die, ihre Konstruktion u. Berechnung von Ing. Prof. Herm. Wilda, Bremen. Mit 399 Abb. Nr. 414.

Heeresorganisation, Die Entwicklung der, seit Einführung der stehenden Heere von Otto Neuschler, Hauptmann u. Batteriechef in Ulm. **I:** Geschichtl. Entwicklung bis zum Ausgange d. 19. Jahrh. Nr. 552.

Heizung u. Lüftung v. Ing. Johannes Körting in Düsseldorf. I: Das Wesen u. die Berechnung der Heizungs- u. Lüftungsanlagen. Mit 34 Figuren. Nr. 342.

— — II: Die Ausführung der Heizungs- u. Lüftungsanlagen. Mit 191 Figuren. Nr. 343.

Hessen. Landeskunde des Großherzogtums Hessen, der Provinz Hessen-Nassau und des Fürstentums Waldeck v. Prof. Dr. Georg Greim in Darmstadt. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 376.

Hieroglyphen von Geh. Regier.-Rat Dr. Ad. Erman, Prof. an der Universität Berlin. Nr. 608.

Hochspannungstechnik, Einführ. in die moderne, von Dr.-Ing. K. Fischer in Hamburg-Bergedorf. Mit 92 Fig. Nr. 609.

Holz, Das. Aufbau, Eigenschaften u. Verwendung v. Ing. Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 33 Abb. Nr. 459.

Hotels. Gasthäuser und Hotels von Archit. Max Wöhler in Düsseldorf. I: Die Bestandteile u. d. Einrichtg. des Gasthauses. Mit 70 Fig. Nr. 525.

— — II: Die verschiedenen Arten von Gasthäusern. Mit 82 Fig. Nr. 526.

Hydraulik v. W. Hauber, Dipl.-Ing. in Stuttgart. Mit 44 Fig. Nr. 397.

Hygiene des Städtebaus, Die, von Prof. H. Chr. Nußbaum in Hannover. Mit. 30 Abb. Nr. 348.

— **des Wohnungswesens, Die,** von Prof. H. Chr. Nußbaum in Hannover. Mit 20 Abbild. Nr. 363.

Iberische Halbinsel. Landeskunde der Iberischen Halbinsel von Dr. Fritz Regel, Prof. a. d. Univ. Würzburg. M. 8 Kärtchen u. 8 Abb. im Text u. 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.

Indische Religionsgeschichte von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 83.

Indogerman. Sprachwissenschaft von Dr. R. Meringer, Professor an der Univers. Graz. M. 1 Tafel. Nr. 59.

Industrielle u. gewerbliche Bauten (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) von Architekt Heinr. Salzmann in Düsseldorf. I: Allgemeines üb. Anlage u. Konstruktion d. industriellen u. gewerblichen Bauten. Nr. 511.

— — II: Speicher und Lagerhäuser. Mit 123 Figuren. Nr. 512.

Infektionskrankheiten, Die, und ihre Verhütung von Stabsarzt Dr. W. Hoffmann in Berlin. Mit 12 vom Verfasser gezeichneten Abbildungen und einer Fiebertafel. Nr. 327.

Insekten. Das Tierreich V: Insekten von Dr. J. Groß in Neapel (Stazione Zoologica). Mit 56 Abbildungen. Nr. 594.

Instrumentenlehre v. Musikdir. Professor Franz Mayerhoff in Chemnitz. I: Text. Nr. 437.

— — II: Notenbeispiele. Nr. 438.

Integralrechnung von Dr. Friedr. Junker, Rekt. d. Realgymnasiums u. d. Oberrealschule in Göppingen. Mit 89 Figuren. Nr. 88.

Integralrechnung. Repetitorium u. Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Friedr. Junker, Rekt. d. Realgymnasiums u. der Oberrealschule in Göppingen. Mit 52 Figuren. Nr. 147.

Israel. Geschichte Israels bis auf die griechische Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.

Italienische Handelskorrespondenz v. Prof. Alberto de Beaux, Oberlehrer am Königl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Nr. 219.

Italienische Literaturgeschichte von Dr. Karl Voßler, Professor an der Universität München. Nr. 125.

Jugendpflege I: Männliche Jugend von H. Sierck. Vorsitzender des Vereins für Jugendwohlfahrt in Schleswig-Holstein in Schleswig. Nr. 714.

Kalkulation, Die, im Maschinenbau von Ingen. H. Bethmann, Dozent am Technikum Altenburg. Mit 63 Abbildungen. Nr. 486.

Kältemaschinen. Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen von M. Röttinger, Dipl.-Ing. in Mannheim. Mit 73 Figuren. Nr. 2.

Kamerun. Die deutschen Kolonien I: Togo und Kamerun von Prof. Dr. Karl Dove. Mit 16 Tafeln und einer lithogr. Karte. Nr. 441.

Kampfesformen u. Kampfesweise der Infanterie von Hein, Oberstleutnant beim Stabe des 5. Westpreußischen Infanterie-Regiments Nr. 148 in Bromberg. Mit 15 Abbildgn. Nr. 712.

Kanal- und Schleusenbau von Regierungsbaumeister Otto Rappold in Stuttgart. Mit 78 Abb. Nr. 585.

Kant, Immanuel. (Geschichte d. Philosophie Bd. 5) v. Dr. Bruno Bauch, Prof. a. d. Univ. Jena. Nr. 536.

Kartell u. Trust v. Dr. S. Tschierschky in Düsseldorf. Nr. 522.

Kartenkunde von Dr. M. Groll, Kartograph i. Berlin. 2 Bändchen. **I:** Die Projektionen. Mit 56 Fig. Nr. 30.

— — **II:** Der Karteninhalt u. das Messen auf Karten. Mit 39 Fig. Nr. 599.

Kartographische Aufnahmen u. geograph. Ortsbestimmung auf Reisen von Dr.-Ing. R. Hugershoff, Prof. an der Forstakademie zu Tharandt. Mit 73 Figuren. Nr 607.

Katholischen Kirche, Geschichte der, von der Mitte des 18. Jahrh. bis zum Vatikanischen Konzil von Geh. Konsist.-Rat Prof. D. Mirbt i. Göttingen. Nr. 700.

Kaufmännische Rechtskunde. I: Das Wechselwesen v. Rechtsanwalt Dr. Rud. Mothes in Leipzig. Nr. 103.

— **II:** Der Handelsstand v. Rechtsanw. Dr. jur. B. Springer, Leipzig. Nr. 545.

Kaufmännisches Rechnen von Prof. Richard Just, Oberlehrer a. d. Öffentl. Handelslehranstalt d. Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139, 140, 187.

Kellschrift, Die, von Dr. Bruno Meißner, o. Professor a. d. Universität Breslau. Mit 6 Abbildungen. Nr. 708.

Keramische Industrie. Die Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. Gust. Rauter. **I:** Glas- u. keram. Industrie. Mit 12 Taf. Nr. 233.

Kerzenfabrikation. Die Seifenfabrikation, die Seifenanalyse und die Kerzenfabrikation von Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette u. Öle II.) Mit 25 Abb. Nr. 336.

Kiautschou. Die deutschen Kolonien II: Das Südseegebiet und Kiautschou v. Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 520.

Kindesrecht u. Kinderschutz von Assessor H. E. Wendel in Grunewald. Nr. 693

Kinematik von Dipl.-Ing. Hans Polster, Assist. a. d. Kgl. Techn. Hochschule Dresden. M. 76 Abb. Nr. 584.

Kirchenrecht v. Dr. E. Sehling, ord. Prof. d. Rechte in Erlangen. Nr. 377

Klima und Leben (Bioklimatologie) von Dr. Wilh. R. Eckardt, Assist. an der öffentl. Wetterdienststelle in Weilburg. Nr. 629.

Klimakunde I: Allgemeine Klimalehre von Prof. Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Taf. u. 2 Figuren. Nr. 114.

Kolonialgeschichte von Dr. Dietrich Schäfer, Professor der Geschichte an der Universität Berlin. Nr. 156.

Kolonialrecht, Deutsches, von Prof. Dr. H. Edler von Hoffmann, Studiendirektor d. Akademie für kommunale Verwaltung in Düsseldorf. Nr. 318.

Kometen. Astronomie. Größe, Bewegung u. Entfernung d. Himmelskörper v. A. F. Möbius, neu bearb. v. Dr. Herm. Kobold, Prof. an der Univ. Kiel. **II:** Kometen, Meteore u. das Sternsystem. Mit 15 Fig. u. 2 Sternkarten. Nr. 529.

Kommunale Wirtschaftspflege von Dr. Alfons Rieß, Magistratsassessor in Berlin. Nr. 534.

Kompositionslehre. Musikalische Formenlehre v. Steph. Krehl. I. II. M. viel. Notenbeispiel. Nr. 149, 150.

Kontrapunkt. Die Lehre von der selbständigen Stimmführung v. Steph. Krehl in Leipzig. Nr. 390.

Kontrollwesen, Das agrikulturchemische, von Dr. Paul Kirsche in Leopoldshall-Staßfurt. Nr. 304.

Koordinatensysteme v. Paul B. Fischer, Oberl. a. d. Oberrealschule zu Groß-Lichterfelde. Mit 8 Fig. Nr. 507.

Körper, Der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten von E. Rebmann, Oberschulr. i. Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. M. 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.

Kostenanschlag siehe: Veranschlagen.

Kriegsschiffbau. Die Entwicklung des Kriegsschiffbaues vom Altertum bis zur Neuzeit. Von Tjard Schwarz, Geh. Marinebaurat und Schiffbau-Direktor. I. Teil: Das Zeitalter der Ruderschiffe u. der Segelschiffe für die Kriegsführung zur See vom Altertum bis 1840. Mit 32 Abbildungen. Nr. 471.

— — II. Teil: Das Zeitalter der Dampfschiffe für die Kriegsführung zur See von 1840 bis zur Neuzeit. Mit 81 Abbildungen. Nr. 472.

Kriegswesens, Geschichte des, von Dr. Emil Daniels in Berlin. I: Das antike Kriegswesen. Nr. 488.
— II: Das mittelalterliche Kriegswesen Nr. 498.
— — III: Das Kriegswesen der Neuzeit. Erster Teil. Nr. 518.
— — IV: Das Kriegswesen der Neuzeit. Zweiter Teil. Nr. 537.
— — V: Das Kriegswesen der Neuzeit. Dritter Teil. Nr. 568.
— — VI: Das Kriegswesen der Neuzeit. Vierter Teil. Nr. 670.
— — VII: Das Kriegswesen der Neuzeit. Fünfter Teil. Nr. 671.

Kristallographie v. Dr. W. Bruhns, Prof. a. d. Bergakademie Clausthal. Mit 190 Abbild. Nr. 210.

Kristalloptik, Einführung in die, von Dr. Eberhard Buchwald i. München. Mit 124 Abbildungen. Nr. 619.

Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Professor an der Universität Würzburg. Nr. 10.

Kultur, Die, der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung v. Dr. Robert F. Arnold, Professor an der Universität Wien. Nr. 189.

Kulturgeschichte, Deutsche, von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

Kurvendiskussion. Algebraische Kurven von Eug. Beutel, Oberreallehrer in Vaihingen-Enz. I: Kurvendiskussion. Mit 57 Fig. im Text. Nr. 435.

Kurzschrift siehe: Stenographie.

Küstenartillerie. Die Entwicklung der Schiffs- und Küstenartillerie bis zur Gegenwart v. Korvettenkapitän Huning. Mit Abb. u. Tab. Nr. 606.

Lacke. Harze, Lacke, Firnisse von Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette und Öle III.) Nr. 337.

Lagerhäuser. Industrielle und gewerbliche Bauten. (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) von Architekt Heinrich Salzmann, Düsseldorf.
— — II: Speicher u. Lagerhäuser. Mit 123 Fig. Nr. 512.

Länder- und Völkernamen von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 478.

Landstraßenbau von Kgl. Oberlehrer A. Liebmann, Betriebsdirekt. a. D. i. Magdeburg. Mit 44 Fig. Nr. 598.

Landwirtschaftliche Betriebslehre v. E. Langenbeck in Groß-Lichterfelde. Nr. 227.

Landwirtschaftlichen Maschinen, Die, von Karl Walther, Diplom.-Ing. in Mannheim. 3 Bändchen. Mit vielen Abbildgn. Nr. 407—409

Lateinische Grammatik. Grundriß der latein. Sprachlehre v. Prof. Dr. W. Votsch in Magdeburg. Nr. 82.

— **Sprache. Geschichte der lateinischen Sprache** von Dr. Friedrich Stolz, Professor an der Universität Innsbruck. Nr. 492.

Lateinisches Lesebuch für Oberrealschulen und zum Selbststudium enthaltend: Cäsars Kämpfe mit den Germanen und den zweiten Punischen Krieg von Professor Lic. theol. Johannes Hillmann, Oberlehrer an der Klinger-Oberrealschule in Frankfurt a. M. Mit Vokabular. Nr. 713.

Laubhölzer, Die. Kurzgefaßte Beschreibung der in Mitteleuropa einheimischen Bäume und Sträucher, sowie der wichtigeren in Gärten gezogenen Laubholzpflanzen von Dr. F. W. Neger, Professor an der Kgl. Forstakademie Tharandt. Mit 74 Textabbildgn. und 6 Tabellen. Nr. 718.

Leuchtgasfabrikation, Die Nebenprodukte der, von Dr. phil. K. R. Lange, Diplom-Ingenieur. Mit 13 Figuren. Nr. 661.

Licht. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Techn. Hochschule in Wien. M. 47 Abb. Nr. 77.

Logarithmen. Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches u. trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Herm. Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Neue Ausgabe v. Dr. Robert Haußner, Prof. an der Universität Jena Nr. 81.

— **Fünfstellige,** von Professor August Adler, Direktor der k. k. Staatsoberrealschule in Wien. Nr. 423.

Logik. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Professor Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Figuren. Nr. 14.

Lokomotiven. Eisenbahnfahrzeuge von H. Hinnenthal. I: Die Lokomotiven Mit 89 Abb. im Text u. 2 Tafeln. Nr. 107.

Lothringen. Geschichte Lothringens von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.

— **Landeskunde v. Elsaß-Lothringen** v. Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abb. u. 1 Karte. Nr. 215.

Lötrohrprobierkunde. Qualitative Analyse mit Hilfe des Lötrohrs von Dr. Mart. Henglein in Freiberg i. Sa. Mit 10 Figuren. Nr. 483.

Lübeck. Landeskunde d. Großherzogtümer Mecklenburg u. der Freien u. Hansestadt Lübeck v. Dr. Sebald Schwarz, Direktor der Realschule zum Dom in Lübeck. Mit 17 Abbildungen und Karten im Text und 1 lithographischen Karte. Nr. 487.

Luftelektrizität von Dr. Karl Kähler, wissenschaftlichem Hilfsarbeiter am Königl. Preuß. Meteorologisch-Magnetischen Observatorium in Potsdam. Mit 18 Abb. Nr. 649.

Luftsalpeter. Seine Gewinnung durch den elektrischen Flammenbogen von Dr. G. Brion, Prof. an der Kgl. Bergakademie in Freiberg. Mit 50 Figuren. Nr. 616.

Luft- und Meeresströmungen von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigationsschule zu Lübeck. Mit 27 Abbildungen und Tafeln. Nr. 551.

Lüftung. Heizung und Lüftung von Ing. Johannes Körting in Düsseldorf. I: Das Wesen und die Berechnung d. Heizungs- u. Lüftungsanlagen. Mit 34 Fig. Nr. 342.

— — **II:** Die Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagen. Mit 191 Figuren. Nr. 343.

Luther, Martin, und Thom. Murner. Ausgewählt und mit Einleitungen u. Anmerkungen versehen v. Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Magnetismus. Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Technischen Hochschule Wien. Mit 33 Abbildungen. Nr. 78.

Mälzerei. Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. P. Dreverhoff, Direktor d. Öffentlichen und 1. Sächs. Versuchsstation für Brauerei und Mälzerei, sowie der Brauer- und Mälzerschule zu Grimma. Nr. 303.

Märkte und Markthallen für Lebensmittel von Richard Schachner, Städt. Baurat in München. I: Zweck und Bedeutung von Märkten u. Markthallen, ihre Anlage u. Ausgestaltung. II: Markthallenbauten. Mit zahlr. Abbildgn. Nr. 719 u. 720.

Maschinenbau, Die Kalkulation im, v. Ing. H. Bethmann, Doz. a. Techn. Altenburg. Mit 63 Abb. Nr. 486.

— **Die Materialien des Maschinenbaues und der Elektrotechnik** von Ingenieur Prof. Hermann Wilda. Mit 3 Abbildungen. Nr. 476.

Maschinenelemente, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. b. praktischen Gebrauch von Fr. Barth, Oberingen. in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.

Maschinenzeichnen, Praktisches, von Obering. Rich. Schiffner in Warmbrunn. I: Grundbegriffe, Einfache Maschinenteile bis zu den Kuppelungen. Mit 60 Tafeln. Nr. 589.

— — **II:** Lager, Riem- u. Seilscheiben, Zahnräder, Kolbenpumpe. Mit 51 Tafeln. Nr. 590.

Maßanalyse von Dr. Otto Röhm in Darmstadt. Mit 14 Fig. Nr. 221.

Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. August Blind, Professor an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Materialprüfungswesen. Einführung in die moderne Technik d. Materialprüfung von K. Memmler, Dipl.-Ingenieur, ständ. Mitarbeiter am Kgl. Material-Prüfungsamte zu Groß-Lichterfelde. I: Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel für Festigkeitsversuche. Mit 58 Figuren. Nr. 311.

— — **II:** Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues. — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Fig. Nr. 312.

Mathematik, Geschichte der, von Dr. A. Sturm, Prof. am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.

Mathematische Formelsammlung und Repetitorium der Mathematik, enthaltend die wichtigsten Formeln u. Lehrsätze d. Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen und sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie der Ebene und des Raumes, der Differential- und Integralrechnung von O. Th. Bürklen, Professor am Kgl. Realgymnasium in Schw.-Gmünd. Mit 18 Figuren. Nr. 51.

Maurer- und Steinhauerarbeiten von Prof. Dr. phil. und Dr.-Ing. Ed. Schmitt in Darmstadt. 3 Bändchen. Mit vielen Abbild. Nr. 419—421.

Mechanik. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.

Mechanische Technologie von Geh. Hofrat Professor A. Lüdicke in Braunschweig. 2 Bändchen. Nr. 340, 341.

Mecklenburg. Landeskunde d. Großherzogtümer Mecklenburg u. der Freien u. Hansestadt Lübeck von Dr. Sebald Schwartz, Direktor der Realschule zum Dom in Lübeck. Mit 17 Abbild. im Text, 16 Taf. und 1 Karte in Lithographie. Nr. 487.

Mecklenburgische Geschichte von Oberlehrer Otto Vitense in Neubrandenburg i. M. Nr. 610.

Medizin, Geschichte der, von Dr. med. et phil. Paul Diepgen, Privatdozent für Geschichte der Medizin in Freiburg i. Br. **I:** Altertum. Nr. 679.

Meereskunde, Physische, von Prof. Dr. Gerhard Schott, Abteilungsvorsteher bei d. Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 39 Abbildungen im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.

Meeresströmungen. Luft- u. Meeresströmungen v. Dr. Franz Schulze, Dir. d. Navigationsschule zu Lübeck. Mit 27 Abb. u. Tafeln. Nr. 551.

Meliorationen v. Baurat Otto Fauser in Ellwangen. 2 Bdchen. Mit vielen Fig. Nr. 691/92.

Menschliche Körper, Der, sein Bau u. seine Tätigkeiten von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre v. Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Tafel. Nr. 18.

Metallographie. Kurze, gemeinfaßliche Darstellung der Lehre von den Metallen u. ihren Legierungen unter besond. Berücksichtigung der Metallmikroskopie v. Prof. E. Heyn u. Prof. O. Bauer a. Kgl. Materialprüfungsamt (Gr.-Lichterfelde) d. K. Techn. Hochschule zu Berlin. **I:** Allgem. Teil. Mit 45 Abb. im Text und 5 Lichtbildern auf 3 Tafeln. Nr. 432.

— — **II:** Spez. Teil. Mit 49 Abbildungen im Text und 37 Lichtbildern auf 19 Tafeln. Nr. 433.

Metallurgie von Dr. August Geitz in Kristiansand (Norwegen). I. II. Mit 21 Figuren. Nr. 313, 314.

Meteore. Astronomie. Größe, Bewegung u. Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neu bearbeitet von Dr. Herm. Kobold, Prof. a. d. Univ. Kiel. **II:** Kometen, Meteore u. das Sternensystem. Mit 15 Fig. u. 2 Sternkarten. Nr. 529.

Meteorologie v. Dr. W. Trabert, Prof. an der Universität Wien. Mit 49 Abbild. u. 7 Tafeln. Nr. 54.

Militärische Bauten von Reg.-Baumeister R. Lang in Stuttgart. Mit 59 Abb. Nr. 626.

Militärstrafrecht, Deutsches, v. Dr. Max Ernst Mayer, Prof. an d. Univ. Straßburg i. E. 2 Bde. Nr. 371, 372.

Mineralogie von Geheimer Bergrat Dr. R. Brauns, Prof. an d. Univ. Bonn. Mit 132 Abbild. Nr. 29.

Minnesang und Spruchdichtung. Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen u. einem Wörterb. von O. Güntter, Prof. an d. Oberrealschule u. an d. Techn. Hochschule i. Stuttgart. Nr. 23.

Mittelhochdeutsche Dichtungen aus mittelhochdeutscher Frühzeit. In Auswahl mit Einleitg. u. Wörterbuch herausgeg. von Dr. Hermann Jantzen, Dir. d. Königin Luise-Schule i. Königsberg i. Pr. Nr. 137.

Mittelhochdeutsche Grammatik. Der Nibelunge Nôt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurz. Wörterb. v. Dr. W. Golther, Prof. a. d. Univ. Rostock. Nr. 1.

Morgenland. Geschichte des alten Morgenlandes v. Dr. Fr. Hommel, Prof. an d. Universität München. Mit 9 Bildern u. 1 Karte. Nr. 43.

Morphologie und Organographie der Pflanzen v. Prof. Dr. M. Nordhausen in Kiel. Mit 123 Abbildgn. Nr. 141.

Mörtel. Die Industrie d. künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. G. Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.

Mundarten, Die deutschen, von Prof. Dr. H. Reis in Mainz. Nr. 605.

Mundarten, Plattdeutsche, von Dr. Hubert Grimme, Professor an der Universf. Münster i. W. Nr. 461.

Münzwesen. Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Prof. a. d. Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Murner, Thomas. Martin Luther u. Thomas Murner. Ausgewählt u. m. Einleitungen u. Anmerk. versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnas. zu Leipzig. Nr. 7.

Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen, v. Dr. A. Möhler in Steinhaußen. 2 Bdch. Mit zahlr. Abb. u. Musikbeil. Nr. 121 u. 347.

Musikalische Akustik von Professor Dr. Karl L. Schäfer in Berlin. Mit 36 Abbildungen. Nr. 21.

Musikal. Formenlehre (Kompositionslehre) von Stephan Krehl. I. II. Mit viel. Notenbeisp. Nr. 149, 150.

Musikästhetik von Dr. Karl Grunsky in Stuttgart. Nr. 344.

Musikgeschichte des 17. Jahrhunderts v. Dr. Karl Grunsky i. Stuttgart. Nr. 239.

Musikgeschichte des 18. Jahrhunderts von Dr. Karl Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 710, 725.

Musikgeschichte seit Beginn des 19. Jahrhunderts v. Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164, 165.

Musiklehre, Allgemeine, von Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.

Nadelhölzer, Die, von Dr. F. W. Neger, Prof. an der Königl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 85 Abbildungen, 5 Tabellen und 3 Karten. Nr. 355.

Nahrungsmittel. Ernährung u. Nahrungsmittel v. Oberstabsarzt Prof. H. Bischoff in Berlin. Mit 4 Abbildungen. Nr. 4C4.

Nautik. Kurzer Abriß d. täglich an Bord von Handelsschiffen angew. Teils d. Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Dir. d. Navigationsschule zu Lübeck. Mit 56 Abbildgn. Nr. 84.

Neugriechisch-deutsches Gesprächsbuch mit besond. Berücksichtigung d. Umgangssprache v. Dr. Johannes Kalitsunakis, Doz. am Seminar für orient. Sprache in Berlin. Nr. 587.

Neunzehntes Jahrhundert. Geschichte des 19. Jahrhunderts von Oskar Jäger, o. Honorarprof. a. d. Univ. Bonn. 1. Bdch.: 1800—1852. Nr. 216.

— — 2. Bändchen: 1853 bis Ende des Jahrhunderts. Nr. 217.

Neutestamentliche Zeitgeschichte von Lic. Dr. W. Staerk, Prof. a. der Univ. in Jena. **I:** Der historische u. kulturgeschichtl. Hintergrund d. Urchristentums. M. 3 Karten. Nr. 325.

— — **II:** Die Religion d. Judentums im Zeitalter des Hellenismus und der Römerherrschaft. Mit 1 Planskizze. Nr. 326.

Nibelunge Nôt, Der, in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterb. v. Dr. W. Golther, Prof. an der Univ. Rostock. Nr. 1.

Nordamerikanische Literatur, Geschichte der, von Dr. Leon Kellner, Prof. an der Univ. Czernowitz. 2 Bdchen. Nr. 685/86.

Nordische Literaturgeschichte I: Die isländ. u. norweg. Literatur des Mittelalters v. Dr. Wolfg. Golther, Prof. an der Universität Rostock. Nr. 254.

Nutzpflanzen von Prof. Dr. J. Behrens, Vorst. d. Großherzogl. landwirtschaftl. Versuchsanst. Augustenberg. Mit 53 Figuren. Nr. 123.

Öle. Die Fette u. Öle sowie d. Seifen- u. Kerzenfabrikation u. d. Harze, Lacke, Firnisse mit ihren wichtigsten Hilfsstoffen von Dr. Karl Braun in Berlin. I: Einführung in d. Chemie, Besprechung einiger Salze u. der Fette und Öle. Nr. 335.

Öle und Riechstoffe, Ätherische, von Dr. F. Rochussen in Miltitz. Mit 9 Abbildungen. Nr. 446.

Optik. Einführung in d. geometrische Optik von Dr. W. Hinrichs in Wilmersdorf-Berlin. Nr. 532.

Orientalische Literaturen. Die Hauptliteraturen des Orients von Dr. M. Haberlandt, Privatdoz. an d. Universität Wien. **I:** Die Literaturen Ostasiens und Indiens. Nr. 162.

— **II:** Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken. Nr. 163.

— **Die christlichen Literaturen des Orients** von Dr. Ant. Baumstark. **I:** Einleitg. — Das christl.-aramäische u. d. kopt. Schrifttum. Nr. 527.

— — **II:** Das christlich-arabische und das äthiopische Schrifttum. — Das christliche Schrifttum der Armenier und Georgier. Nr. 528.

Ortsnamen im Deutschen, Die, ihre Entwicklung u. ihre Herkunft von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig-Gohlis. Nr. 573.

Ostafrika. Die deutschen Kolonien III: Ostafrika von Prof. Dr. K. Dove. Mit 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 567.

Österreich. Österreichische Geschichte von Prof. Dr. Franz v. Krones, neubearb. von Dr. Karl Uhlirz, Prof. a. d. Univ. Graz. **I:** Von d. Urzeit b. z. Tode König Albrechts II. (1439). Mit 11 Stammtaf. Nr. 104.

— — **II:** Vom Tode König Albrechts II. bis z. Westf. Frieden (1440—1648). Mit 3 Stammtafeln. Nr. 105.

— **Landeskunde v. Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Prof. an d. Universität Prag. Mit 10 Textillustrationen u. 1 Karte. Nr. 244.

Ovidius Naso, Die Metamorphosen des. In Auswahl mit einer Einleit. u. Anmerk. herausgeg. v. Dr. Jul. Ziehen in Frankfurt a. M. Nr. 442.

Pädagogik im Grundriß von Professor Dr. W. Rein, Direktor d. Pädagog. Seminars a. d. Univ. Jena. Nr. 12.

— **Geschichte der,** von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.

Paläogeographie. Geolog. Geschichte der Meere und Festländer von Dr. Franz Kossmat in Wien. Mit 6 Karten. Nr. 406.

Paläoklimatologie von Dr. Wilh. R. Eckardt i. Weilburg (Lahn). Nr. 482.

Paläontologie von Dr. Rud. Hoernes, Professor an der Universität Graz. Mit 87 Abbildungen. Nr. 95.

Paläontologie und Abstammungslehre von Dr. Karl Diener, Prof. an der Univers. Wien. Mit 9 Abbildungen. Nr. 460.

Palästina. Landes- und Volkskunde Palästinas von Lic. Dr. Gustav Hölscher in Halle. Mit 8 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 345.

Parallelperspektive. Rechtwinklige u. schiefwinklige Axonometrie v. Prof. J. Vonderlinn in Münster. Mit 121 Figuren. Nr. 260.

Personennamen, Die deutschen, v. Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 422.

Peru. Die Cordillerenstaaten von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen. **I:** Einleitung, Bolivia und Peru. Mit 16 Tafeln u. 1 lith. Karte. Nr. 652.

Petrographie v. Dr. W. Bruhns, Prof. an der Bergakademie Clausthal. Mit 15 Abbildungen. Nr. 173.

Pflanze, Die, ihr Bau und ihr Leben von Prof. Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.

Pflanzenbaulehre. Ackerbau- und Pflanzenbaulehre von Dr. Paul Rippert in Essen u. Ernst Langenbeck in Groß-Lichterfelde. Nr. 232.

Pflanzenbiologie v. Dr. W. Migula, Professor an d. Forstakademie Eisenach. **I:** Allgemeine Biologie. Mit 43 Abbildungen. Nr. 127.

Pflanzenernährung. Agrikulturchemie I: Pflanzenernährung v. Dr. Karl Grauer. Nr. 329.

Pflanzengeographie von Professor Dr. Ludwig Diels in Marburg (Hessen). Nr. 389.

Pflanzenkrankheiten von Dr. Werner Friedr. Bruck, Privatdoz. i. Gießen. Mit 1 farb. Tafel und 45 Abbildgn. Nr. 310.

Pflanzenmorphologie. Morphologie u. Organographie d. Pflanzen von Prof. Dr. M. Nordhausen in Kiel. Mit 123 Abbildungen. Nr. 141.

Pflanzenphysiologie von Dr. Adolf Hansen, Prof. an der Universität Gießen. Mit 43 Abbild. Nr. 591.

Pflanzenreichs, Die Stämme des, von Privatdoz. Dr. Rob. Pilger, Kustos am Kgl. Botan. Garten in Berlin-Dahlem. Mit 22 Abb. Nr. 485.

Pflanzenwelt, Die, der Gewässer von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Forstak. Eisenach. Mit 50 Abb. Nr. 158.

Pflanzenzellenlehre. Zellenlehre und Anatomie der Pflanzen von Prof. Dr. H Miehe in Leipzig. Mit 79 Abbildungen. Nr. 556.

Pharmakognosie. Von Apotheker F. Schmitthenner, Assist. a. Botan. Institut d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Nr. 251.

Pharmazeutische Chemie von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. 4 Bändchen. Nr. 543/44, 588, 682.

Philologie, Geschichte d. klassischen, v. Dr. Wilh. Kroll, ord. Prof. a. d. Univ. Münster in Westf. Nr. 367.

Philosophie, Einführung in die, von Dr. Max Wentscher, Professor an der Universität Bonn. Nr. 281.

Philosophie, Geschichte d., IV: Neuere Philosophie bis Kant von Dr. B. Bauch, Professor an der Universität Jena. Nr. 394.

— — **V: Immanuel Kant** von Dr. Bruno Bauch, Professor an d. Universität Jena. Nr. 536.

— **VI: Die Philosophie im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts** von Arthur Drews, Prof. der Philosophie an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 571.

— **VII: Die Philosophie im zweiten Drittel des 19. Jahrhunderts** von Arthur Drews, Prof. der Philosophie an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 709.

— **Hauptprobleme der,** v. Dr. Georg Simmel, Professor an der Universität Berlin. Nr. 500.

— **Psychologie und Logik** zur Einf. in d. Philosophie von Prof. Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie von Professor Dr. Hans Dock in Mähr.-Weißkirchen. Mit 59 Abbildgn. Nr. 699.

Photographie, Die. Von H. Keßler, Prof. an d. k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 3 Taf. und 42 Abbild. Nr. 94.

Physik, Theoretische, von Dr. Gustav Jäger, Prof. der Physik an der Techn. Hochschule in Wien. I. Teil: Mechanik und Akustik. Mit 24 Abbildungen. Nr. 76.

— — II. Teil: Licht u. Wärme. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

Physik, Theoretische, von Dr. Gust. Jäger, Prof. d. Physik an d. Techn. Hochschule in Wien. III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Mit 33 Abb. Nr. 78.

— — IV. Teil: Elektromagnet. Lichttheorie und Elektronik. Mit 21 Fig. Nr. 374.

Physik, Geschichte, der, von Prof. A. Kistner in Wertheim a. M. I: Die Physik bis Newton. Mit 13 Fig. Nr. 293.

— — II: Die Physik von Newton bis z. Gegenwart. Mit 3 Fig. Nr. 294.

Physikalisch-Chemische Rechenaufgaben von Prof. Dr. R. Abegg und Privatdozent Dr. O. Sackur, beide an der Univ. Breslau. Nr. 445.

Physikalische Aufgabensammlung von G. Mahler, Prof. der Mathematik u. Physik am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.

— **Formelsammlung** von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit 65 Figuren. Nr. 136.

— **Messungsmethoden** von Dr. Wilh. Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Figuren. Nr. 301.

— **Tabellen** v. Dr. A. Leick, Oberlehrer an der Comeniusschule zu Berlin-Schöneberg. Nr. 650.

Physiologische Chemie von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.

— — II: Dissimilation. Mit 1 Taf. Nr. 241.

Physische Geographie von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule in München. Mit 37 Abbildungen. Nr. 26.

Physische Meereskunde von Prof. Dr. Gerh. Schott, Abteilungsvorst. b. d. Deutsch. Seewarte in Hamburg. M. 39 Abb. im Text u. 8 Taf. Nr. 112.

Pilze, Die. Eine Einführung in die Kenntnis ihrer Formenreihen von Prof. Dr. G. Lindau in Berlin. Mit 10 Figurengruppen i. Text. Nr. 574.

Planetensystem. Astronomie (Größe, Bewegung u. Entfernung d. Himmelskörper) von A. F. Möbius, neu bearb. von Dr. Herm. Kobold, Prof. a. d. Univ. Kiel. I: Das Planetensystem. Mit 33 Abbild. Nr. 11.

Plankton, Das, des Meeres von Dr. G. Stiasny in Wien. Mit 83 Abbildungen. Nr. 675.

Plastik, Die, des Abendlandes von Dr. Hans Stegmann, Direktor des Bayer. Nationalmuseums in München. Mit 23 Tafeln. Nr. 116.

— **Die, seit Beginn des 19. Jahrhunderts** von A. Heilmeyer in München. Mit 41 Vollbildern. Nr. 321.

Plattdeutsche Mundarten von Dr. Hub. Grimme, Professor an der Universität Münster i. W. Nr. 461.

Poetik, Deutsche, v. Dr. K. Borinski, Prof. a. d. Univ. München. Nr. 40.

Polarlicht. Erdmagnetismus, Erdstrom u. Polarlicht von Dr. A. Nippoldt, Mitglied des Kgl. Preuß. Meteorolog. Instituts zu Potsdam. Mit 7 Taf. u. 16 Figuren. Nr. 175.

Polnische Geschichte von Dr. Clemens Brandenburger in Posen. Nr. 338.

Pommern. Landeskunde von Pommern von Dr. W. Deecke, Prof. an der Universität Freiburg i. B. Mit 10 Abb. und Karten im Text und 1 Karte in Lithographie. Nr. 575.

Portugiesische Geschichte v. Dr. Gustav Diercks in Berlin-Steglitz. Nr. 622.

Portugiesische Literaturgeschichte von Dr. Karl von Reinhardstoettner, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München. Nr. 213.

Posamentiererei Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation v. Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Fig. Nr. 185.

Postrecht von Dr. Alfred Wolcke, Postinspektor in Bonn. Nr. 425.

Preßluftwerkzeuge, Die, von Diplom-Ing. P. Iltis, Oberlehrer an der Kais. Techn. Schule in Straßburg. Mit 82 Figuren. Nr. 493.

Preußische Geschichte. Brandenburgisch-Preußische Geschichte v. Prof. Dr. M. Thamm, Direktor d. Kaiser Wilhelms-Gymnasiums in Montabaur. Nr. 600.

Preußisches Staatsrecht von Dr. Fritz Stier-Somlo, Prof. an der Univ. Bonn. 2 Teile. Nr. 298, 299.

Psychiatrie, Forensische, von Professor Dr. W. Weygandt, Dir. der Irrenanstalt Friedrichsberg in Hamburg. 2 Bändchen. Nr. 410 und 411.

Psychologie und Logik zur Einführung in d. Philosophie v. Prof. Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

Psychophysik, Grundriß der, v. Prof. Dr. G. F. Lipps in Zürich. Mit 3 Figuren. Nr. 98.

Pumpen, Druckwasser- und Druckluft-Anlagen. Ein kurzer Überblick von Dipl.-Ing. Rudolf Vogdt, Regierungsbaumeister a. D. in Aachen. Mit 87 Abbildungen. Nr. 290.

Quellenkunde d. deutschen Geschichte von Dr. Carl Jacob, Prof. an der Universität Tübingen. 1. Band. Nr. 279.

Radioaktivität von Dipl.-Ing. Wilh. Frommel. Mit 21 Abb. Nr. 317.

Rechnen, Das, in der Technik u. seine Hilfsmittel (Rechenschieber, Rechentafeln, Rechenmaschinen usw.) von Ing. Joh. Eug. Mayer in Freiburg i. Br. Mit 30 Abbild Nr. 405.

— **Kaufmännisches,** von Professor Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139, 140, 137.

Recht des Bürgerlichen Gesetzbuchs. Erstes Buch: Allg. Teil. I: Einleitung — Lehre v. d. Personen u. v. d. Sachen v. Dr. P. Oertmann, Prof. a. d. Univ. Erlangen. Nr. 447.

— — II: Erwerb u. Verlust, Geltendmachung u. Schutz der Rechte von Dr. Paul Oertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 448.

— Zweites Buch: Schuldrecht. I. Abteilung: Allgemeine Lehren von Dr. Paul Oertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 323.

— — II Abt.: Die einzelnen Schuldverhältnisse v. Dr. Paul Oertmann, Prof. an der Universität Erlangen. Nr. 324.

— Drittes Buch: Sachenrecht von Dr. F. Kretzschmar, Oberlandesgerichtsrat in Dresden. I: Allgem. Lehren. Besitz und Eigentum. Nr. 480.

— — II: Begrenzte Rechte. Nr. 481.

— Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Titze, Professor an der Universität Göttingen. Nr. 305.

— Fünftes Buch: Erbrecht von Dr. Wilhelm von Blume, ord. Prof. der Rechte an der Universität Tübingen. I. Abteilung: Einleitung. — Die Grundlagen des Erbrechts. Nr 659,

Recht des Bürgerlichen Gesetzbuchs. Fünftes Buch: Erbrecht v. Dr. Wilh. von Blume, ord. Prof. der Rechte a. d. Univ. Tübingen. II. Abteilung: Die Nachlaßbeteiligten. Mit 23 Figuren. Nr. 660.

Recht der Versicherungsunternehmungen, Das, von Regierungsrat a. D. Dr. jur. K. Leibl, erstem Direktor der Nürnberger Lebensversicherungsbank, früher Mitglied des Kaiserlichen Aufsichtsamts für Privatversicherung. Nr. 635.

Rechtsschutz, Der internationale gewerbliche, von J. Neuberg, Kaiserl. Regierungsrat, Mitglied d. Kaiserl. Patentamts zu Berlin. Nr. 271.

Rechtswissenschaft, Einführung in die, von Dr. Theodor Sternberg in Berlin. I: Methoden- und Quellenlehre. Nr. 169.

— — II: Das System. Nr. 170.

Redelehre, Deutsche, v. Hans Probst, Gymnasialprof. in Bamberg. Nr. 61.

Redeschrift siehe: Stenographie.

Reichsfinanzen, Die Entwicklung der, von Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. Nr. 427.

Religion, Die Entwicklung der christlichen, innerhalb des Neuen Testaments von Professor Dr. Lic. Carl Clemen. Nr. 388.

Religion, Die, des Judentums im Zeitalter des Hellenismus u. der Römerherrschaft von Lic. Dr. W. Staerk (Neutestamentliche Zeitgeschichte II.) Mit einer Planskizze. Nr. 326.

Religionen der Naturvölker, Die, von Dr. Th. Achelis, Professor in Bremen. Nr. 449.

Religionswissenschaft, Abriß der vergleichenden, von Professor Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.

Renaissance. Die Kultur der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung v. Dr. Robert F. Arnold, Prof. an der Universität Wien. Nr. 189.

Reptilien. Das Tierreich III: Reptilien und Amphibien. Von Dr. Franz Werner, Prof. a. d. Univers. Wien. Mit 48 Abb. Nr. 383.

Rheinprovinz, Landeskunde der, von Dr. B. Steinecke, Direktor d. Realgymnasiums in Essen. Mit 9 Abb., 3 Kärtchen und 1 Karte. Nr. 308.

Riechstoffe. Ätherische Öle und Riechstoffe von Dr. F. Rochussen in Miltitz. Mit 9 Abb. Nr. 446.

Roman. Geschichte des deutschen Romans von Dr. Hellm. Mielke. Nr. 229.

Romanische Sprachwissenschaft von Dr. Adolf Zauner, Prof. a. d. Univ. Graz. 2 Bände. Nr. 128, 250.

Römische Altertumskunde von Dr. Leo Bloch in Wien. Mit 8 Vollbildern. Nr. 45.

Römische Geschichte von Realgymnasial-Direktor Dr. Jul. Koch in Grunewald. 2 Bdchn. (I: Königszeit und Republik. II: Die Kaiserzeit bis zum Untergang des Weströmischen Reiches.) Nr. 19 u. 677.

Römische Literaturgeschichte von Dr. Herm. Joachim in Hamburg. Nr. 52.

Römische und griechische Mythologie von Professor Dr. Hermann Steuding, Rektor des Gymnasiums in Schneeberg. Nr. 27.

Römische Rechtsgeschichte von Dr. Robert von Mayr, Prof. an der Deutschen Univers. Prag. 1. Buch: Die Zeit d. Volksrechtes. 1. Hälfte: Das öffentliche Recht. Nr. 577.

— — 2. Hälfte: Das Privatrecht. Nr. 578.

— 2. Buch: Die Zeit des Amts- und Verkehrsrechtes. 1. Hälfte: Das öffentliche Recht. Nr. 645.

— — 2. Hälfte: Das Privatrecht I Nr. 646.

— — 2. Hälfte: Das Privatrecht II. Nr. 647.

— 3. Buch: Die Zeit des Reichs- und Volksrechtes. Nr. 648.

— 4. Buch: Die Zeit der Orientalisierung des römischen Rechtes. Nr. 697.

Rußland. Russische Geschichte von Prof. Dr. W. Reeb, Oberlehrer am Neuen Gymnasium in Mainz. Nr. 4.

— **Landeskunde des Europäischen Rußlands nebst Finnlands** von Professor Dr. A. Philippson in Halle a. S. Nr. 359.

Russisch-deutsches Gesprächsbuch von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität München. Nr. 68.

Russische Grammatik von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität München. Nr. 66.

Russische Handelskorrespondenz von Dr. Theodor von Kawraysky in Leipzig. Nr. 315.

Russisches Lesebuch mit Glossar von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität München. Nr. 67.

Russische Literatur von Dr. Erich Boehme, Lektor a. d. Handelshochschule Berlin. I. Teil: Auswahl moderner Prosa u. Poesie mit ausführlichen Anmerkungen u. Akzentbezeichnung. Nr. 403.

— — II. Teil: Всеволодъ Гаршинъ, Разсказы. Mit Anmerkungen und Akzentbezeichnungen. Nr. 404.

Russische Literaturgeschichte von Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.

Russisches Vokabelbuch, Kleines, von Dr. Erich Boehme, Lektor an der Handelshochschule Berlin. Nr. 475.

Russisches Wörterbuch. Deutsch-russisches kaufmännisches Wörterbuch von Michael Kulhánek in Dresden. Nr. 717.

Ruthenische Grammatik von Dr. Stephan von Smal-Stockyj, o. ö. Prof. an d. Univ. Czernowitz. Nr. 680.

Ruthenisch-deutsches Gesprächsbuch von Dr. Stephan von Smal-Stockyj, o. ö. Prof. an d. Universität Czernowitz. Nr. 681.

Sachenrecht. Recht d. Bürgerl. Gesetzbuches. Drittes Buch: Sachenrecht von Dr. F. Kretzschmar, Oberlandesgerichtsrat i. Dresden. I: Allgemeine Lehren. Besitz u. Eigentum, — — II: Begrenzte Rechte. Nr. 480. 481.

Sachs, Hans. Ausgewählt u. erläut. v. Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 24.

Sachsen. Sächsische Geschichte v. Prof. Otto Kaemmel, Rektor d. Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.

— **Landeskunde des Königreichs Sachsen** v. Dr. J. Zemmrich, Oberlehrer am Realgymnas. in Plauen. Mit 12 Abbildungen u. 1 Karte. Nr. 258.

Säugetiere. Das Tierreich I: Säugetiere von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Mit 15 Abbildungen. Nr. 282.

Schaltapparate siehe: Elektrische Schaltapparate.

Schattenkonstruktionen von Professor J. Vonderlinn in Münster. Mit 114 Figuren. Nr. 236.

Schiffs- und Küstenartillerie bis zur Gegenwart, Die Entwicklung der, von Korvettenkapitän Huning. Mit Abbild. und Tabellen. Nr. 606.

Schleswig-Holstein. Landeskunde von Schleswig-Holstein, Helgoland u. der freien und Hansestadt Hamburg von Dr. Paul Hambruch, Abteilungsvorsteher am Museum für Völkerkunde in Hamburg. Mit Abb., Plänen, Profilen und 1 Karte in Lithographie. Nr. 563.

Schleusenbau. Kanal- u. Schleusenbau von Regierungsbaumeister Otto Rappold in Stuttgart. Mit 78 Abbildungen. Nr. 585.

Schmalspurbahnen (Klein-, Arbeits- u. Feldbahnen) v. Dipl.-Ing. Aug. Boshart in Nürnberg. Mit 99 Abbildungen. Nr. 524.

Schmarotzer und Schmarotzertum in der Tierwelt. Erste Einführung in die tierische Schmarotzerkunde von Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. a. d. Univ. Graz. Mit 67 Abb. Nr. 151

Schreiner-Arbeiten. Tischler- (Schreiner-) Arbeiten I: Materialien, Handwerkszeuge, Maschinen, Einzelverbindungen, Fußböden, Fenster, Fensterladen, Treppen, Aborte von Prof. E. Viehweger, Architekt in Köln. Mit 628 Fig. auf 75 Tafeln. Nr. 502.

Schuldrecht. Recht des Bürgerl. Gesetzbuches. Zweites Buch: Schuldrecht. I. Abteilung: Allgemeine Lehren von Dr. Paul Oertmann, Prof. a. d. Univ. Erlangen. Nr. 323.

— — II. Abteilung: Die einzelnen Schuldverhältnisse von Dr. Paul Oertmann, Professor a. d. Universität Erlangen. Nr. 324.

Schule, die deutsche, im Auslande von Hans Amrhein, Seminar-Oberlehrer in Rheydt. Nr. 259.

Schulhaus. Die Baukunst des Schulhauses von Prof. Dr.-Ing. Ernst Vetterlein in Darmstadt. I: Das Schulhaus. Mit 38 Abbild. II: Die Schulräume — Die Nebenanlagen. Mit 31 Abbild. Nr. 443 und 444.

Schulpraxis. Methodik der Volksschule von Dr. R. Seyfert, Seminardirektor in Zschopau. Nr. 50.

Schweiß- und Schneidverfahren, Das autogene, von Ingenieur Hans Niese in Kiel. Mit 30 Fig. Nr. 499.

Schweiz. Schweizerische Geschichte von Dr. K. Dändliker, Professor an der Universität Zürich. Nr. 188.

— **Landeskunde der Schweiz** von Prof. Dr. H. Walser in Bern. Mit 16 Abb. und 1 Karte. Nr. 398.

Schwimmanstalten. Öffentl. Bade- und Schwimmanstalten von Dr. Karl Wolff, Stadt-Oberbaurat in Hannover. Mit 50 Fig. Nr. 380.

Seemacht, Die, in der deutschen Geschichte von Wirkl. Admiralitätsrat Dr. Ernst von Halle, Professor an der Universität Berlin. Nr. 370.

Seerecht, Das deutsche, von Dr. Otto Brandis, Oberlandesgerichtsrat in Hamburg. **I:** Allgemeine Lehren: Personen und Sachen des Seerechts. Nr. 386.

— — **II:** Die einzelnen seerechtlichen Schuldverhältnisse: Verträge des Seerechts und außervertragliche Haftung. Nr. 387.

Seifenfabrikation, Die, die Seifenanalyse und d. Kerzenfabrikation v. Dr. Karl Braun in Berlin. (Die Fette u. Öle II.) Mit 25 Abbildgn. Nr. 336.

Semitische Sprachwissenschaft von Dr. C. Brockelmann, Professor an der Univers. Königsberg. Nr. 291.

Serbokroatische Grammatik von Dr. Vladimir Corović, Bibliothekar des bosn.-herzegow. Landesmuseums in Sarajevo (Bosnien). Nr. 638.

Serbokroatisches Lesebuch mit Glossar von Dr. Vladimir Corović, Bibliothekar des bosn.-herzegow. Landesmuseums i. Sarajevo (Bosn.). Nr. 639.

Serbokroatisch-deutsches Gesprächsbuch von Dr. Vladimir Corović, Bibliothekar des bosn.-herzegow. Landesmuseums i. Sarajevo (Bosn.). Nr. 640.

Silikate. Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. **I:** Glas u. keramische Industrie. M. 12 Taf. Nr. 233.

— — **II:** Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.

Simplicius Simplicissimus von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgeg. von Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.

Skandinavien, Landeskunde von, (Schweden, Norwegen u. Dänemark) von Heinrich Kerp, Kreisschulinspektor in Kreuzburg. Mit 11 Abb. und 1 Karte. Nr. 202.

Slavische Literaturgeschichte von Dr. Josef Karásek in Wien. **I:** Ältere Literatur bis zur Wiedergeburt. Nr. 277.

— — **II:** Das 19. Jahrh. Nr. 278.

Soziale Frage. Die Entwicklung der sozialen Frage von Professor Dr. Ferdin. Tönnies. Nr. 353

Sozialversicherung von Prof. Dr. Alfred Manes in Berlin. Nr. 267.

Soziologie von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 101.

Spalt- und Schleimpilze. Eine Einführung in ihre Kenntnis von Prof. Dr. Gustav Lindau, Kustos am Kgl. Botanischen Museum und Privatdozent der Botanik an der Universität Berlin. Mit 11 Abbildungen. Nr. 642.

Spanien. Spanische Geschichte von Dr. Gustav Diercks. Nr. 266.

— **Landeskunde der Iberischen Halbinsel** v. Dr. Fritz Regel, Prof. an der Univ. Würzburg. Mit 8 Kärtchen und 8 Abbild. im Text und 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.

Spanische Handelskorrespondenz von Dr. Alfredo Nadal de Mariezcurrena. Nr. 295.

Spanische Literaturgeschichte v. Dr. Rud. Beer, Wien. I. II. Nr. 167, 168.

Speicher, Industrielle und gewerbliche Bauten (Speicher, Lagerhäuser u. Fabriken) v. Architekt Heinr. Salzmann in Düsseldorf. **II:** Speicher u. Lagerhäuser. Mit 123 Fig. Nr. 512.

Spinnerei. Textilindustrie I: Spinnerei und Zwirnerei von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 39 Figuren. Nr. 184.

Spitzenfabrikation. Textilindustrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikat. u. Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Fig. Nr. 185.

Sportanlagen von Dr. phil. u. Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. **I.** Mit 78 Abbildungen. Nr. 684.

Spruchdichtung. Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkgn. u. einem Wörterbuch v. Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule u. an der Technischen Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

Staatslehre, Allgemeine, von Dr. Hermann Rehm, Prof. a. d. Universität Straßburg i. E. Nr. 358.

Staatsrecht, Allgemeines, von Dr. Julius Hatschek, Prof. d. Rechte an der Universität Göttingen. 3 Bändchen. Nr. 415—417.

Staatsrecht, Preußisches, von Dr. Fritz Stier-Somlo, Prof. a. d. Universität Bonn. 2 Teile. Nr. 298, 299.

Stammeskunde, Deutsche, von Dr. Rudolf Much, a. o. Prof. a. d. Univ. Wien. M. 2 Kart. u. 2 Taf. Nr. 126.

Statik von W. Hauber, Dipl.-Ing. I. Teil: **Die Grundlehren der Statik starrer Körper.** Mit 82 Fig. Nr. 178.

— — II. Teil: **Angewandte Statik.** Mit 61 Figuren. Nr. 179.

— **Graphische,** mit besond. Berücksichtig. der Einflußlinien von Kgl. Oberlehrer Dipl.-Ing. Otto Henkel in Rendsburg. 2 Teile. Mit 207 Fig. Nr. 603, 695.

Steinhauerarbeiten. Maurer- und Steinhauerarbeiten von Prof. Dr. phil. und Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. 3 Bändchen. Mit vielen Abbildungen. Nr. 419—421.

Stellwerke. Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen von S. Scheibner, Kgl. Oberbaurat a. D. in Berlin. 2 Bändchen. Mit 72 Abbild. Nr. 689/90.

— **Die mechanischen Stellwerke der Eisenbahnen** von S. Scheibner, Kgl. Oberbaurat a. D. in Berlin. 2 Bändchen. Mit 79 Abbild. Nr. 674 u. 688.

Stenographie. Geschichte der Stenographie von Dr. Arthur Mentz in Königsberg i. Pr. Nr. 501.

Stenographie n. d. System v. F. X. Gabelsberger von Dr. Albert Schramm, Landesamtsassessor in Dresden. Nr. 246.

— **Die Redeschrift des Gabelsbergerschen Systems** von Dr. Albert Schramm, Landesamtsassessor in Dresden. Nr. 363.

Stenographie. Lehrbuch d. Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig.-System Stolze-Schrey) nebst Schlüssel, Lesestücken u. einem Anhang von Professor Dr. Arnsel, Oberlehrer des Kadettenkorps in Lichterfelde. Nr. 86.

— **Redeschrift.** Lehrbuch der Redeschrift d. Systems Stolze-Schrey nebst Kürzungsbeisp., Lesestücken, Schlüssel und einer Anleitung zur Steigerung der stenographischen Fertigkeit von Heinrich Dröse, amtl. bad. Landtagsstenograph in Karlsruhe (B.). Nr. 494.

Stereochemie von Dr. E. Wedekind. Prof. an der Universität Tübingen. Mit 34 Abbildungen. Nr. 201.

Stereometrie von Dr. K. Glaser in Stuttgart. Mit 66 Figuren. Nr. 97.

Sternsystem. Astronomie. Größe, Bewegung u. Entfernung d. Himmelskörper v. A. F. Möbius, neu bearb. v. Dr. Herm. Kobold, Prof. a. d. Univers. Kiel. II: Kometen, Meteore u. das Sternsystem. Mit 15 Fig. u. 2 Sternkarten. Nr. 529.

Steuersysteme des Auslandes, Die, v. Geh. Oberfinanzrat O. Schwarz in Berlin. Nr. 426.

Stilkunde v. Prof. Karl Otto Hartmann in Stuttgart. Mit 7 Vollbild. u. 195 Textillustrationen. Nr. 80.

Stöchiometrische Aufgabensammlung von Dr. Wilh. Bahrdt, Oberl. an d. Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit den Resultaten. Nr. 452.

Straßenbahnen von Dipl.-Ing. Aug. Boshart in Nürnberg. Mit 72 Abbildungen. Nr. 559.

Strategie von Löffler, Major im Kgl. Sächs. Kriegsmin. i. Dresd. Nr. 505.

Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen v. Jos. Herzog, Dipl.-Elektroing. in Budapest u. Clarence Feldmann, Prof. d. Elektrotechnik in Delft. Mit 68 Abb. Nr. 456.

Südamerika. Geschichte Südamerikas von Dr. Hermann Lufft. I: Das spanische Südamerika (Chile, Argentinien und die kleineren Staaten). Nr. 632.

— — II: **Das portugiesische Südamerika (Brasilien).** Nr. 672.

Südseegebiet. Die deutschen Kolonien II: Das Südseegebiet und Kiautschou v. Prof. Dr. K. Dove. M. 16 Taf. u. 1 lith. Karte. Nr. 520.

Talmud. Die Entstehung des Talmuds von Dr. S. Funk in Boskowitz. Nr. 479.

Talmudproben von Dr. S. Funk in Boskowitz. Nr. 583.

Technisch-Chemische Analyse von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbildungen Nr. 195.

Technisch-chemische Rechnungen von Chemiker H. Deegener. Mit 4 Figuren. Nr. 701.

Technische Tabellen und Formeln von Dr.-Ing. W. Müller, Dipl.-Ing. am Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. Mit 106 Figuren. Nr. 579.

Technisches Wörterbuch, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke d. Maschinenbaues, Schiffbaues u. d. Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin.
I. Teil: Dtsch.-Engl. Nr. 395.
— — II. Teil: Engl.-Dtsch. Nr. 396.
— — III. Teil: Dtsch.-Franz. Nr. 453.
— — IV. Teil: Franz.-Dtsch. Nr. 454.

Technologie, Allgemeine chemische, v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.

— **Mechanische**, v. Geh. Hofrat Prof. A. Lüdicke in Braunschweig. 2 Bde. Nr. 340, 341.

Teerfarbstoffe, Die, mit bes. Berücksichtig. der synthetisch. Methoden v. Dr. Hans Bucherer, Prof. a. d. Kgl. Techn. Hochschule, Dresd. Nr. 214.

Telegraphenrecht v. Postinspektor Dr. jur. Alfred Wolcke in Bonn. I: Einleitung. Geschichtliche Entwicklung. Die Stellung d. deutsch. Telegraphenwesens im öffentl. Rechte, allgemeiner Teil. Nr. 509.
— — II: Die Stellung d. deutsch. Telegraphenwesens im öffentl. Rechte, besonderer Teil. Das Telegraphen-Strafrecht. Rechtsverhältnis d. Telegraphie z. Publikum. Nr. 510.

Telegraphie, Die elektrische, v. Dr. Lud. Rellstab. Mit 19 Figuren. Nr. 172.

Testament. Die Entstehung des Alten Testaments v. Lic. Dr. W. Staerk, Prof. a. d. Univ. Jena. Nr. 272.

Testament. Die Entstehung des Neuen Testaments v. Prof. Lic. Dr. Carl Clemen in Bonn. Nr. 285.

Textilindustrie. I: Spinnerei und Zwirnerei v. Prof. Max Gürtler, Geh. Reg.-Rat im Kgl. Landesgewerbeamt, Berlin. M. 9 Fig. Nr. 184.
— **II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** v. Prof. M. Gürtler, Geh. Regierungsrat i. Kgl. Landesgewerbeamt zu Berlin. M. 29 Fig. Nr. 185.
— **III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Dr. Wilh. Massot, Prof. a. d. Preuß. höheren Fachschule f. Textilindustr. in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Textiltechnische Untersuchungsmethoden von Dr. Wilhelm Massot, Professor an der Färberei- u. Appreturschule Krefeld. I: Die Mikroskopie der Textilmaterialien. Mit 92 Figuren. Nr. 673.

Thermodynamik (Technische Wärmelehre) v. K. Walther u. M. Röttinger, Dipl.-Ing. M. 54 Fig. Nr. 242.

Thermodynamik (Technische Wärmelehre). **Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen** von M. Röttinger, Dipl.-Ing. in Mannheim. Nr. 2.

Thüringische Geschichte v. Dr. Ernst Devrient in Leipzig. Nr. 352.

Tierbiologie. Abriß der Biologie der Tiere v. Dr. Heinrich Simroth, Prof. a. d. Univ. Leipzig. I: Entstehung u. Weiterbildung der Tierwelt. — Beziehungen zur organ. Natur. Mit 34 Abbild. Nr. 131.
— — II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur. Mit 35 Abbild. Nr. 654.

Tiere, Entwicklungsgeschichte der, von Dr. Johs. Meisenheimer, Prof. der Zoologie a. d. Universität Jena. I: Furchung, Primitivanlagen, Larven, Formbildung, Embryonalhüllen. Mit 48 Fig. Nr. 378.
— — II: Organbildung. Mit 46 Figuren. Nr. 379.

Tiergeographie v. Dr. Arnold Jacobi, Professor der Zoologie a. d. Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.

Tierkunde von Dr. Franz v. Wagner, Prof. a. d. Universität Graz. Mit 78 Abbildungen. Nr. 60.

Tierreich, Das, I: Säugetiere v. Oberstudienr. Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorst. d. Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. M. 15 Abb. Nr. 282.

— **III: Reptilien und Amphibien** von Dr. Franz Werner, Prof. a. d. Univ. Wien. Mit 48 Abb. Nr. 383.

— **IV: Fische** von Prof. Dr. Max Rauther in Neapel. Nr. 356.

— **V: Insekten** von Dr. J. Groß in Neapel (Stazione Zoologica). Mit 56 Abbildungen. Nr. 594.

— **VI: Die wirbellosen Tiere** von Dr. Ludw. Böhmig, Prof. d. Zool. a. d. Univ. Graz. I: Urtiere, Schwämme, Nesseltiere, Rippenquallen und Würmer. Mit 74 Fig. Nr. 439.

— — II: Krebse, Spinnentiere, Tausendfüßer, Weichtiere, Moostierchen, Armfüßer, Stachelhäuter und Manteltiere. M. 97 Fig. Nr. 440.

Tierzuchtlehre, Allgemeine und spezielle, von Dr. Paul Rippert in Essen. Nr. 228.

Tischler- (Schreiner-) Arbeiten I: Materialien, Handwerkszeuge, Maschinen, Einzelverbindungen, Fußböden, Fenster, Fensterladen, Treppen, Aborte von Prof. E. Viehweger, Architekt in Köln. Mit 628 Figuren auf 75 Tafeln. Nr. 502.

Togo. Die deutschen Kolonien I: Togo und Kamerun von Prof. Dr. Karl Dove. Mit 16 Tafeln und einer lithographischen Karte. Nr. 441.

Toxikologische Chemie von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. Mit 6 Abbildungen. Nr. 465.

Trigonometrie, Ebene und sphärische, von Prof. Dr. Gerh. Hessenberg in Breslau. Mit 70 Fig. Nr. 99.

Tropenhygiene v. Medizinalrat Prof. Dr. Nocht, Direktor des Instituts für Schiffs- und Tropenkrankheiten in Hamburg. Nr. 369.

Trust. Kartell und Trust von Dr. S. Tschierschky in Düsseldorf. Nr. 522.

Turnen, Das deutsche, v. Dr. Rudolf Gasch, Prof. a. König Georg-Gymn. in Dresden. Mit 87 Abb. Nr. 628.

Turnkunst, Geschichte der, von Dr. Rudolf Gasch, Prof. a. König Georg-Gymnasium in Dresden. Mit 17 Abbildungen. Nr. 504.

Ungarn. Landeskunde von Österreich-Ungarn von Dr. Alfred Grund, Prof. an der Universität Prag. Mit 10 Textillustr. u. 1 Karte. Nr. 244.

Ungarische Literatur, Geschichte der, von Prof. Dr. Ludwig Katona und Dr. Franz Szinnyei, beide an der Universität Budapest Nr. 550.

Ungarische Sprachlehre v. Dr. Josef Szinnyei, o. ö. Prof. an der Universität Budapest. Nr. 595.

Ungarisches Lesebuch mit Glossar von Dr. Wilhelm Tolnai, Professor an der staatlichen Bürgerschullehrerinnen-Bildungsanstalt in Budapest. Nr. 694.

Unterrichtswesen. Geschichte d. deutschen Unterrichtswesens von Prof. Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Kgl. Gymnasiums zu Luckau. I. Teil: Von Anfang an bis zum Ende d. 18. Jahrh. Nr. 275.

— — II. Teil: Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis auf die Gegenwart. Nr. 276.

— **Das höhere und mittlere Unterrichtswesen in Deutschland** von Schulrat Prof. Dr. Jakob Wychgram in Lübeck. Nr. 644.

Untersuchungsmethoden, Agrikulturchemische, von Professor Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landwirtschaftlichen Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 470.

Urgeschichte der Menschheit von Dr. Moritz Hoernes, Professor an der Univ. Wien. Mit 85 Abb. Nr. 42.

Urheberrecht, Das, an Werken der Literatur und der Tonkunst, das Verlagsrecht und das Urheberrecht an Werken d. bildenden Künste u. Photographie v. Staatsanw. Dr. F. Schlittgen in Chemnitz. Nr. 361.

Urheberrecht, Das deutsche, an literarischen, künstlerischen u. gewerbl. Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internationalen Verträge von Dr. Gustav Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 263.

Urzeit. Kultur der Urzeit von Dr. Moritz Hoernes, o. ö. Prof. an der Univ. Wien. 3 Bändch. I: Steinzeit. Mit 40 Bildergrupp. Nr. 564.

— — II: Bronzezeit. Mit 36 Bildergruppen. Nr. 565.

— — III: Eisenzeit. Mit 35 Bildergruppen. Nr. 566.

Vektoranalysis von Dr. Siegfr. Valentiner, Prof. an der Bergakademie in Clausthal. Mit 16 Fig. Nr. 354.

Venezuela. Die Cordillerenstaaten von Dr. Wilhelm Sievers, Prof. an der Universität Gießen **II:** Ecuador, Colombia u. Venezuela. Mit 16 Taf. u. 1 lithogr. Karte. Nr. 653.

Veranschlagen, Das, im Hochbau. Kurzgefaßtes Handbuch üb. d. Wesen d. Kostenanschlags v. Architekt Emil Beutinger, Assistent an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit vielen Fig. Nr. 385.

Vereinigte Staaten. Landeskunde der Vereinigten Staaten von Nordamerika von Professor Heinrich Fischer, Oberlehrer am Luisenstädt. Realgymnasium in Berlin. **I.** Teil: Mit 22 Karten und Figuren im Text und 14 Tafeln. Nr. 381.

— — **II.** Teil: Mit 3 Karten im Text, 17 Tafeln u. 1 lith. Karte. Nr. 382.

Vergil. Die Gedichte des P. Vergilius Maro. In Auswahl mit einer Einleitung u. Anmerkungen herausgeg. von Dr. Julius Ziehen. **I:** Einleitung und Aeneis. Nr. 497.

Vermessungskunde von Dipl.-Ing. P. Werkmeister, Oberlehrer an der Kais. Techn. Schule in Straßburg i. E. **I:** Feldmessen und Nivellieren. Mit 146 Abb. Nr. 468.

— — **II:** Der Theodolit. Trigonometrische u. barometr. Höhenmessung. Tachymetrie. Mit 109 Abbildungen. Nr. 469.

Versicherungsmathematik von Dr. Alfred Loewy, Professor an der Universität Freiburg i. B. Nr. 180.

Versicherungswesen, Das, von Dr. iur. Paul Moldenhauer, Professor der Versicherungswissenschaft an der Handelshochschule Köln. **I:** Allgemeine Versicherungslehre. Nr. 262.

— — **II:** Die einzelnen Versicherungszweige. Nr. 636.

Völkerkunde v. Dr. Michael Haberlandt, k. u. k. Kustos d. ethnogr. Sammlung d. naturhist. Hofmuseums u. Privatdozent a. d. Univ. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.

Völkernamen. Länder- u. Völkernamen von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 478.

Volksbibliotheken (Bücher- u. Lesehallen), ihre Einrichtung u. Verwaltung v. Emil Jaeschke, Stadtbibliothekar in Elberfeld. Nr. 332.

Volkslied, Das deutsche, ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. 2 Bändchen. Nr. 25, 132.

Volkswirtschaftslehre von Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Tübingen. Nr. 133.

Volkswirtschaftspolitik v. Präsident Dr. R. van d. Borght, Berlin. Nr. 177.

Waffen, Die blanken, und die Schußwaffen, ihre Entwicklung von der Zeit der Landsknechte bis zur Gegenwart m. besonderer Berücksichtigung der Waffen in Deutschland, Österreich-Ungarn und Frankreich von W. Gohlke, Feuerwerks-Major a. D. in Berlin-Steglitz. Mit 115 Abbildungen. Nr. 631.

Wahrscheinlichkeitsrechnung von Dr. Franz Hack, Professor am Eberhard-Ludwigs-Gymnasium in Stuttgart. Mit 15 Fig. im Text. Nr. 508.

Waldeck. Landeskunde des Großherzogtums Hessen, der Provinz Hessen-Nassau und des Fürstentums Waldeck von Professor Dr. Georg Greim in Darmstadt. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 376.

Waltharilied, Das, im Versmaße der Urschrift übersetzt u. erläutert von Prof. Dr. H. Althof, Oberlehrer am Realgymnas. in Weimar. Nr. 46.

Walther von der Vogelweide, mit Auswahl a. Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkgn. u. einem Wörterbuch v. Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und an der Techn. Hochsch. in Stuttgart. Nr. 23.

Walzwerke. Die, Einrichtung und Betrieb. Von Dipl.-Ing. A. Holverscheid, Oberlehrer a. d. Kgl. Maschinenbau- u. Hüttenschule in Duisburg. Mit 151 Abbild. Nr. 580.

Warenhäuser. Geschäfts- u. Warenhäuser von Hans Schliepmann, Königl. Baurat in Berlin. **I:** Vom Laden zum „Grand Magasin". Mit 23 Abbildungen. Nr. 655.

— — **II:** Die weitere Entwickelung der Kaufhäuser. Mit 39 Abbildungen. Nr. 656.

Warenkunde von Dr. Karl Hassack, Prof. u. Leiter der k. k. Handelsakademie in Graz. **I.** Teil: Unorganische Waren. M. 40 Abb. Nr. 222.

— — **II.** Teil: Organische Waren. Mit 36 Abbildungen. Nr. 223.

Warenzeichenrecht, Das. Nach dem Gesetz z. Schutz d. Warenbezeichnungen v. 12. Mai 1894. Von Reg.-Rat F. Neuberg, Mitglied des Kais. Patentamts zu Berlin. Nr. 360.

Wärme. Theoretische Physik II. T.: Licht u. Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. a. d. Techn. Hochschule Wien. Mit 47 Abbildgn. Nr. 77.

Wärmekraftmaschinen. Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- u. Kältemaschinen von M. Röttinger, Diplom-Ing. in Mannheim. Mit 73 Fig. Nr. 2.

Wärmelehre, Technische, (Thermodynamik) v. K. Walther u. M. Röttinger, Dipl.-Ing. Mit 54 Figuren. Nr. 242.

Wäscherei. Textilindustrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Prof. an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Figuren. Nr. 186.

Wasser, Das, und seine Verwendung in Industrie und Gewerbe v. Dr. Ernst Leher, Dipl.-Ing. in Saalfeld. Mit 15 Abbildungen. Nr. 261.

Wasser und Abwässer. Ihre Zusammensetzung, Beurteilung u. Untersuchung v. Prof. Dr. Emil Haselhoff, Vorst. d. landwirtsch. Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 473.

Wasserinstallationen. Gas- und Wasserinstallationen mit Einschluß der Abortanlagen v. Prof. Dr. phil. u. Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. Mit 119 Abbild. Nr. 412.

Wasserkraftanlagen von Th. Rümelin, Regierungsbaumeister a. D., Oberingenieur in Dresden. **I:** Beschreibung. Mit 66 Figuren. Nr. 665.

— — **II:** Gewinnung der Wasserkraft. Mit 35 Figuren. Nr. 666.

— — **III:** Bau und Betrieb. Mit 56 Figuren. Nr. 667.

Wasserturbinen, Die, von Dipl.-Ing. P. Holl in Berlin. **I:** Allgemeines. Die Freistrahlturbinen. Mit 113 Abbildungen. Nr. 541.

Wasserturbinen, Die, von Diplom.-Ing. P. Holl in Berlin. **II:** Die Überdruckturbinen. Die Wasserkraftanlagen. Mit 102 Abbild. Nr. 542.

Wasserversorgung der Ortschaften v. Dr.-Ing. Robert Weyrauch, Prof. an der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. Mit 85 Fig. Nr. 5.

Weberei. Textilindustrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- u. Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185.

Wechselstromerzeuger von Ing. Karl Pichelmayer, Prof. an der k. k. Technischen Hochschule in Wien. Mit 40 Figuren. Nr. 547.

Wechselwesen, Das, v. Rechtsanw. Dr. Rudolf Mothes in Leipzig. Nr. 103.

Wehrverfassung, Deutsche, von Geh. Kriegsrat Karl Endres, vortr. Rat i. Kriegsminist. i. München. Nr. 401.

Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung, Die, von Ing. Professor Hermann Wilda in Bremen. Mit 125 Abbildungen. Nr. 582.

Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung, Die, von Ing. Prof. Hermann Wilda in Bremen. **I:** Die Mechanismen der Werkzeugmaschinen. Die Drehbänke. Die Fräsmaschinen. Mit 319 Abb. Nr. 561.

— — **II:** Die Bohr- und Schleifmaschinen. Die Hobel-, Shaping- u. Stoßmaschinen. Die Sägen u. Scheren. Antrieb u. Kraftbedarf. Mit 206 Abbild. Nr. 562.

Westpreußen. Landeskunde der Provinz Westpreußen von Fritz Braun, Oberlehrer am Kgl. Gymnasium in Graudenz. Mit 16 Tafeln, 7 Textkarten u. 1 lith. Karte. Nr. 570.

Wettbewerb, Der unlautere, von Rechtsanwalt Dr. Martin Wassermann in Hamburg. **I:** Generalklausel, Reklameauswüchse, Ausverkaufswesen, Angestelltenbestechung. Nr. 339.

— — **II:** Kreditschädigung, Firmen- und Namenmißbrauch, Verrat von Geheimnissen, Ausländerschutz. Nr. 535.

Wirbellose Tiere. Das Tierreich VI: Die wirbellosen Tiere von Dr. Ludwig Böhmig, Prof. d. Zoologie an der Univ. Graz I: Urtiere, Schwämme, Nesseltiere, Rippenquallen u. Würmer. Mit 74 Fig. Nr. 439.

— — II: Krebse, Spinnentiere, Tausendfüßer, Weichtiere, Moostierchen, Armfüßer, Stachelhäuter u. Manteltiere Mit 97 Fig. Nr. 440.

Wirkerei. Textilindustrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- u. Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185.

Wirtschaftlichen Verbände, Die, v. Dr. Leo Müffelmann in Rostock. Nr. 586.

Wirtschaftspflege. Kommunale Wirtschaftspflege von Dr. Alfons Rieß, Magistratsass. in Berlin. Nr. 534.

Wohnungsfrage, Die, v. Dr. L. Pohle, Prof. der Staatswissenschaften zu Frankfurt a. M. I: Das Wohnungswesen i. d. modern. Stadt. Nr. 495.

— — II: Die städtische Wohnungs- und Bodenpolitik. Nr. 496.

Wolfram von Eschenbach. Hartmann v. Aue, Wolfram v. Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Königl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.

Wörterbuch nach der neuen deutschen Rechtschreibung von Dr. Heinrich Klenz. Nr. 200.

— **Deutsches,** von Dr. Richard Loewe in Berlin. Nr. 64.

— **Technisches,** enthaltend die wichtigsten Ausdrücke des Maschinenbaues, Schiffbaues und der Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin. I. Teil: Deutsch-Englisch. Nr. 395.

— — II. Teil: Engl.-Dtsch. Nr. 396.

— — III. Teil: Dtsch.-Franz. Nr. 453.

— — IV. Teil: Franz.-Dtsch. Nr. 454.

Württemberg. Württembergische Geschichte v. Dr. Karl Weller, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Nr. 462.

Württemberg. Landeskunde des Königreichs Württemberg von Dr. K. Hassert, Professor der Geographie an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern u. 1 Karte. Nr. 157.

Zeichenschule von Prof. K. Kimmich in Ulm. Mit 18 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck und 200 Voll- und Textbildern. Nr. 39.

Zeichnen, Geometrisches, von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearbeitet von Prof. J. Vonderlinn, Direktor der königl. Baugewerkschule zu Münster. Mit 290 Fig. u. 23 Taf. im Text. Nr. 58.

Zeitungswesen, Das deutsche, von Dr. R. Brunhuber, Köln a. Rh. Nr. 400.

Zeitungswesen, Das moderne, (System d. Zeitungslehre) von Dr. Rober Brunhuber in Köln a. Rh. Nr. 320.

Zeitungswesen, Allgemeine Geschichte des, von Dr. Ludwig Salomon in Jena. Nr. 351.

Zellenlehre und Anatomie der Pflanzen von Prof. Dr. H. Miehe in Leipzig. Mit 79 Abbild. Nr. 556.

Zentral-Perspektive von Architekt Hans Freyberger, neu bearbeitet von Professor J. Vonderlinn, Direktor der Königl. Baugewerkschule in Münster i. Westf. Mit 132 Fig. Nr. 57.

Zimmerarbeiten von Carl Opitz, Oberlehrer an der Kais. Techn. Schule in Straßburg i. E. I: Allgemeines, Balkenlagen, Zwischendecken und Deckenbildungen, hölz. Fußböden, Fachwerkswände, Hänge- und Sprengwerke. Mit 169 Abbildungen. Nr. 489.

— — II: Dächer, Wandbekleidungen, Simsschalungen, Block-, Bohlen- und Bretterwände, Zäune, Türen, Tore, Tribünen und Baugerüste, Mit 167 Abbildungen. Nr. 490.

Zivilprozeßrecht, Deutsches, von Prof. Dr. Wilhelm Kisch in Straßburg i. E. 3 Bände. Nr. 428—430.

Zoologie, Geschichte der, von Prof. Dr. Rud. Burckhardt. Nr. 357.

Zündwaren von Direktor Dr. Alfons Bujard, Vorst. des Städt. Chem. Laboratoriums Stuttgart. Nr. 109.

Zwangsversteigerung, Die, und die Zwangsverwaltung von Dr. F. Kretzschmar, Oberlandesgerichtsrat in Dresden. Nr. 523.

Zwirnerei. Textilindustrie I: Spinnerei und Zwirnerei von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königlichen Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 39 Fig. Nr. 184.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung G. m. b. H. Berlin W 10 und Leipzig

In unserm Verlag erschien soeben:

Goethes Wilhelm Meister

und die Entwicklung des modernen Lebensideals

Von **Max Wundt**

Professor an der Universität Straßburg

Preis M. 8.—, in Leinwand gebunden M. 8.80

Aus der Einleitung:

Als Goethe am Ausgang seines Lebens bemüht war, den Ertrag seines gesamten Daseins in die Scheuern zu sammeln, wohl sich bewußt, daß der Wert seiner Lebensarbeit nicht in dem oder jenem Werke, sondern in dem Bilde, das sie von der Summe seiner Existenz biete, beschlossen liege, da sind es drei Werke, die ihn nach dem Zeugnis seiner Briefe und Tagebücher vor allem beschäftigen und die er vor andern zum Abschluß zu bringen wünscht, seine biographischen Aufzeichnungen, Faust und Wilhelm Meister. Sollten jene den äußeren Rahmen seines Lebens umschreiben, so meinte er in diesen dessen inneren Gehalt am vollständigsten niedergelegt zu haben.

Diese Stellung des Faust zu Goethes Leben ist seit langem anerkannt. Dem Schwesterwerke aber widerfuhr keine gleiche Gunst. Ein ästhetisches, an einseitigen Voraussetzungen orientiertes Urteil ließ die späteren Partien in einem ungünstigen Lichte erscheinen. Dazu kam, daß die älteste Gestalt des Romans bis vor kurzem so gut wie unbekannt war, da nur wenige, nicht immer deutliche Nachrichten über die neunziger Jahre zurückreichten, die wohl luftigen Konstruktionen, aber keinem festen Bau einen Grund boten. Erst seit diese frühste Fassung, wie sie Goethe vor der italienischen Reise niedergeschrieben hatte, Wilhelm Meisters theatralische Sendung, im Jahre 1910 zum größten Teil wiedergefunden und 1911 veröffentlicht ist, läßt sich die Arbeit am Wilhelm Meister bis mindestens in die ersten Weimarer Jahre zurückverfolgen, und da sie wenige Jahre vor Goethes Tode beendet wurde, so umspannt auch sie alle wesentlichen Epochen seines Lebens.

In Goethes Werk erwacht der moderne Geist wahrhaft zur Besinnung über sein eigenes Wesen; und sein Bild ist umso treuer, je reiner und umfassender die Dichtung den Geist ihres Schöpfers ausspricht. Als Spiegel seiner Zeit und ihres Wandels steht daher Wilhelm Meister allen anderen Werken Goethes weit voran, besitzt doch das Epos seinem Wesen nach die stärkste Tendenz auf die Fülle des realen Lebens. So bestimmt sich die geschichtliche Bedeutung dieses Romans. Er allein läßt die Entstehung des modernen Lebensideals wahrhaft erkennen, beider Entwicklung ist aufs engste ineinander geschlungen.

2,00

S - 96

6.—
Dott. pr. D 6/25.
31/10.950.
3 -

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
I-301265

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000295761